



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 박사학위논문

공간계량모형을 활용한
교통사고 유형별 발생 특성 분석
- 서울시를 대상으로 -

2016년 8월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과
이 경 아

공간계량모형을 활용한
교통사고 유형별 발생 특성 연구
- 서울시를 대상으로 -

지도교수 이 영 인

이 논문을 도시계획학박사 학위논문으로 제출함
2016년 4월

서울대학교 대학원
환경대학원 교통학 전공
이 경 아

이경아의 도시계획학 박사 학위논문을 인준함
2016년 7월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

공간계량모형을 활용한 교통사고 유형별 발생 특성 분석

- 서울시를 대상으로 -

국문초록

이 경 아

우리나라는 국가 소득 대비 교통사고 사망자수가 많고, 특히 보행자 사망자수가 많음에도 불구하고 교통사고의 발생 특성을 유형별로 파악하고자 하는 선행연구는 부족하였다. 이에 본 연구에서는 서울시에서 발생한 유형별 교통사고(차대차, 보행자-차량, 자동차 관련 교통사고)에 영향을 미치는 공간요인이 다를 것이라는 가설 하에 각 사고 유형을 종속변수로 하고, 인구·도시·도로·교통환경 등의 다양한 요인을 설명변수로 하는 공간계량모형¹⁾을 설정하고 분석을 수행하였다. 모형 분석은 2010년 서울시 교통사고 데이터를 토대로 수행되었다. 분석을 위한 기준모형으로 일반회귀모형(OLS)을 설정하고 대안모형으로는 전역적 공간계량모형인 공간시차모형(Spatial Lag Model)과 공간오차모형(Spatial Error Model), 일반공간모형(General Spatial Model)과 국지적 공간계량모형인 지리적 가중회귀분석(Geographically Weighted Regression)을 설정하였다. 모형의 설명력과 오차율을 기준으로 할 때 차대차 사고와 자동차 관련 사고의

-
- 1) 선행연구 결과, 이륜차 및 자전거 관련 사고는 사고 심각도 및 영향 요인이 자동차와 다르게 나타나 본 연구에서는 이륜차 및 자전거 등과 관련된 교통사고를 제외하고 순수하게 자동차와 관련된 교통사고만을 분석 대상으로 하였다. 또한 공간분석모형의 함수형태에 따라 종속변수에 자연로그를 취하게 되는데, 차량단독사고의 경우 전체 TAZ의 40%가 자연로그를 취했을 때 0의 값을 가지게 되어 본 연구에서는 제외하였다. 다만, 차량단독사고에 대한 영향요인이 차대차 및 보차사고와는 상이하므로 부록에 분석결과를 수록하였다.

최적 모형은 GWR과 공간오차모형, 보행자-차량사고의 최적모형은 GWR과 공간시차모형이 선정되었다. 모형 분석 결과, 서울시의 공간적 특성을 나타내면서 기존 연구와는 차별화된 다양한 공간요인들이 유형별 교통사고에 미치는 영향력과 공간요인 변화에 따른 시나리오 분석 등의 활용방안을 제시하였다.

차대차 사고 모형에서 제한속도가 30km/h인 도로연장비율이 10% 증가시 차대차 사고는 3.3% 감소한 반면, 60km/h인 도로연장비율이 10% 증가시 차대차 사고는 10% 증가하게 된다. 이를 통해 차대차 사고의 경우 속도 제한이 차대차 사고 감소에 미치는 긍정적 영향을 확인하였다. 또한 차대차 사고 모형에서 가장 큰 영향력을 갖는 변수는 토지이용 다양성 지표로 나타난 반면, 보행자-차량사고모형에서는 총 도로연장 대비 제한속도가 60km/h인 도로연장비율(%) 변수가 가장 큰 영향력을 나타내었다. 보차사고모형에 포함된 아파트 면적비율(%) 더미변수의 사고감소 효과가 차대차 모형에 비해 더 크게 나타났다. 아파트 면적비율이 교통사고를 감소시키는 이유는 아파트단지가 많은 지역의 공간적 특성 때문으로 판단된다. 즉, 재개발이나 재건축, 지구환경개선사업 등으로 아파트단지가 건설될 경우 차량진출입구가 주변의 교통체계 및 동선을 고려하여 계획적으로 설계됨으로써 사업시행 전에 비해 보행자-차량간 상충횟수가 현저히 감소하기 때문이다. 또한 보행자-차량사고는 제한속도 60km/h인 도로연장비율 5% 증가시 약 14% 증가하며, 종사자 밀도 10% 증가시 2.5% 증가하는 것으로 나타나 제한속도가 상대적으로 높은 도로연장비율이 보차사고에 상대적으로 높은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 보차사고모형에서는 교통사고 증가변수로 포함된 65세 이상 인구비율 변수가 자동차 관련 교통사고모형에는 교통사고 감소변수로 포함되었는데, 이는 고령인구 증가로 고령자와 관련된 부상 및 사망사고가 증가하고 있기 때문으로 판단된다.

본 연구의 주요 결과 및 정책적 함의는 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 교통사고에 영향을 미치는 공간요인들에 대해 증거에 기반(evidence-based)한 실증연구를 진행함으로써 기존에는 막연한 예상에

그쳤던 공간요인들과 교통안전 정책적으로 통제 가능한 변수를 발굴하고
이의 통계적 유의성을 확보함으로써 안전한 도시공간을 조성하는데 필요한
변수와 그 영향을 계량적으로 제시하였다. 둘째, 본 연구를 통해 서울시에서
발생한 차대차 사고, 보행자-차량사고, 자동차 관련 사고별로 영향을 미치는
공간요인이 달라짐을 확인하였다. 셋째, 본 연구의 결과를 통해 교통안전정책을
뒷받침할 실증적 근거를 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 넷째, 본 연구
결과에 따르면 제한속도 60km/h인 도로연장비율이 증가할 때 보차사고가 가장
크게 증가하는 것으로 나타난 반면, 제한속도 30km/h인 도로연장비율이 증가
할 때 차대차 사고가 감소하는 것으로 나타나 도시부 도로의 제한속도 규제
가 교통사고를 감소시키는데 효과가 있는 것을 정량적으로 확인하였다. 이러
한 결과는 최근 생활도로 및 도시부 도로의 제한속도 하향화에 대한 외국의
정책 동향 및 OECD(2016) 권고사항과 맥락을 같이 하고 있음을 고려할 때
정책적 활용도가 클 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 도시의 공간적 환경 및 다양한 활동들이 교통사고에
미치는 영향을 증명하였으며, 이를 통해 결국 교통안전은 도시계획단계
에서부터 염두에 두어야 할 주요 계획 요소라는 점을 다시 한 번 확인
시켜주었다. 향후 IT기술 발달에 따라 향후 사람들의 생활모습이나 도시공간
변화가 예상됨에 따라 도시공간구조의 재편에 따른 변화, 인구이동 등
다양한 교통정책의 변화에 따른 교통사고의 영향을 파악하기 위한 노력이
지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 공간적 자기상관성, Moran's I, 공간적 종속성 및 이질성,
자동차 관련 사고, 차대차 사고, 보행자-차량사고

Keywords : Spatial autocorrelation, Moran's I, Spatial dependence and
Heterogeneity, Motor vehicle Crash, Vehicle to Vehicle
accident, Pedestrian-vehicle collision

학 번 : 2009-30700

차 례

| | |
|----------------------------|----|
| 제1장 서론 | 1 |
| 제1절 연구의 배경 및 목적 | 1 |
| 제2절 연구의 범위 | 5 |
| 제3절 연구의 수행방법 | 6 |
| 제4절 연구의 의의 및 구성 | 6 |
| 제2장 선행연구 고찰 및 시사점 도출 | 9 |
| 제1절 선행연구 고찰 | 9 |
| 1. 교통사고 분석 모형 및 함수형태 | 9 |
| 2. 사고유형별 영향요인 | 16 |
| 3. 공간적 집계단위 | 20 |
| 4. 선행연구 요약 | 23 |
| 제2절 시사점 도출 | 28 |
| 1. 선행연구 시사점 검토 | 28 |
| 2. 본 연구의 차별성 | 29 |
| 제3장 연구 방법론 정립 | 32 |
| 제1절 연구의 전체 및 수행 절차 | 32 |
| 1. 연구의 전체 및 가설 | 32 |
| 2. 공간분석 수행 절차 | 33 |
| 제2절 공간분석모형 설정 | 35 |
| 1. 공간가중행렬 설정 | 35 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 2. 공간적 상관성 판단 | 35 |
| 3. 종속변수 설정 | 36 |
| 4. 독립변수 설정 | 39 |
| 제3절 모형의 검증방법 | 54 |
| 제4장 데이터 구축 및 기초통계분석 | 57 |
| 제1절 서울시 교통사고 발생 특성 검토 | 5 |
| 제2절 분석 데이터 구축 | 63 |
| 제3절 기초통계분석 | 67 |
| 1. 종속변수 | 67 |
| 2. 차량단독사고에 대한 모형 적용의 합리성 검토 | 68 |
| 3. 독립변수 | 71 |
| 제5장 교통사고 발생 특성 분석 결과 | 74 |
| 제1절 공간적 자기상관성 검토 | 74 |
| 1. 공간가중치행렬 설정 | 74 |
| 2. 전역적 자기상관성 | 76 |
| 3. 국지적 공간 상관성 | 78 |
| 제2절 전역적 공간모형 분석 | 80 |
| 1. 차대차 사고 모형 | 80 |
| 2. 보행자-차량사고 모형 | 91 |
| 3. 자동차 관련 총 교통사고 모형 | 98 |
| 제3절 국지적 공간모형 분석 | 103 |
| 1. 차대차 사고 모형 | 103 |
| 2. 보행자-차량사고 모형 | 105 |
| 3. 자동차 관련 총 교통사고 모형 | 107 |
| 제4절 최적 모형 선정 | 108 |

| | |
|-----------------------------------|----------------|
| 1. 모형 설명력 비교 검토 | 108 |
| 2. 모형의 오차율 비교 검토 | 113 |
| 3. 사고유형별 최적 모형 선정 및 해석 | 114 |
| 제5절 분석결과의 활용 | 120 |
| 1. 교통사고 증감에 대한 시나리오 분석 | 122 |
| 2. GWR분석결과의 활용 | 124 |
| 3. 모형의 공간적 안정성 검증 | 128 |
| 제6장 결론 및 향후 연구과제 | 132 |
| 제1절 결론 및 정책적 함의 | 132 |
| 제2절 향후 연구과제 | 137 |
| 부 록 | 141 |
| 1. 가구 월평균소득 10분위표(2010년 기준) | 141 |
| 2. 차량단독사고 모형 분석 결과 | 142 |
| 3. GWR모형의 ANOVA 결과 | 148 |
| 4. 계수 안정성 검정 그룹별 기초통계량 검토 | 149 |
| 5. 자치구별 사회경제적 속성 집계자료 | 153 |
| 6. 독립변수 상관분석 결과 | 157 |
| 참 고 문 헌 | 158 |
| Abstract | 170 |

표 목 차

| | |
|---|----|
| <표 2-1> 교통사고 분석모형 검토 | 10 |
| <표 2-2> 교통사고(Y) 유형 구분 사례 | 12 |
| <표 2-3> 주요 선행연구의 함수형태 검토 | 15 |
| <표 2-4> 교통사고분석에 사용되는 집계 및 분석단위 | 22 |
| <표 2-5> 선행연구 고찰 | 25 |
| <표 2-6> 집계단위 및 분석모형에 따른 변수 변화 | 29 |
| | |
| <표 3-1> 교통사고 요인 및 비율 | 32 |
| <표 3-2> 종속변수의 범위 결정 | 37 |
| <표 3-3> 사고유형별 TAZ 분포현황 | 37 |
| <표 3-4> 종속변수별 교통사고 발생현황_2010년 | 38 |
| <표 3-5> 인구영향변수의 교통사고 영향 검토 | 40 |
| <표 3-6> 도시환경변수의 교통사고 영향 검토 | 41 |
| <표 3-7> 도로환경변수의 교통사고 영향 검토 | 42 |
| <표 3-8> 교통환경변수의 교통사고 영향 검토 | 44 |
| <표 3-9> 서울시 주택유형비율(%) 현황_2010년 | 46 |
| <표 3-10> 교통사고 발생현황 비교(2009년) | 48 |
| <표 3-11> 서울·경기지역 보행자-버스 교통사고 현황 비교(2010년) | 49 |
| <표 3-12> 서울시 공간특성을 고려한 독립변수 설정 | 51 |
| <표 3-13> 교통사고의 시·공간적 영향요인 분석을 위한 모형 검토 | 53 |
| <표 3-14> 서울시 교통사고 모형 분석체계 설정 | 54 |
| <표 3-15> 기준모형(OLS)의 공간상관성 진단 | 55 |
| <표 3-16> 기준모형(OLS) 기본가정의 통계적 진단 | 56 |
| <표 3-17> 모형별 설명력 및 통계량 검토 | 56 |

| | |
|---|-----|
| <표 4-1> 서울시 교통사고의 운전자 관련 특성 비교 | 61 |
| <표 4-2> 연령대 및 발생시간별 교통사고 발생 특성 비교 | 61 |
| <표 4-3> 서울시 교통사고 유형별 발생 특성 비교 | 62 |
| <표 4-4> 음주운전에 의한 사고발생비율 검토 | 63 |
| <표 4-5> 월평균 가구소득분위 변수 생성 | 65 |
| <표 4-6> 데이터 구축목록 | 66 |
| <표 4-7> 종속변수의 기초통계량(N=423) | 67 |
| <표 4-8> 차량단독사고건수 통계량 | 69 |
| <표 4-9> 독립변수의 기초통계량 | 73 |
| | |
| <표 5-1> 공간가중치 생성방법 선정 | 75 |
| <표 5-2> GIS TOOL(GeoDa)에서 생성한 가중치 행렬 확인 | 75 |
| <표 5-3> 사고유형별 Hot/Cold SPOT 분석(Getis-Ord Gi*) | 79 |
| <표 5-4> 차대차 사고가 0건인 TAZ 검토 | 80 |
| <표 5-5> 어린이보호구역과 영유아 및 초등교육기관간 기초통계량 비교 | 82 |
| <표 5-6> 아파트 면적비율변수의 변곡점 분석 | 82 |
| <표 5-7> 차대차 사고 기준모형(OLS) 분석 결과 | 85 |
| <표 5-8> 차대차 사고모형 변수의 공간적 상관성 분석 결과 | 86 |
| <표 5-9> 차대차 사고 기준모형(OLS) 진단 | 87 |
| <표 5-10> 차대차 사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과(n=422) | 90 |
| <표 5-11> 보행자-차량사고가 0건인 TAZ 검토 | 91 |
| <표 5-12> 보행자-차량사고 변수의 히스토그램 검토 | 92 |
| <표 5-13> 보행자-차량사고 기준모형(OLS) 분석 결과(n=420) | 93 |
| <표 5-14> 보행자-차량사고모형 변수의 공간적 상관성 분석 결과 | 94 |
| <표 5-15> 보행자-차량사고 기준모형(OLS) 진단 | 95 |
| <표 5-16> 보행자-차량사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과(n=420) | 97 |
| <표 5-17> 자동차 관련 총교통사고 기준모형(OLS) 분석 결과(n=422) | 100 |

| | |
|--|-----|
| <표 5-18> 자동차 관련 총교통사고 기준모형(OLS) 진단 | 101 |
| <표 5-19> 자동차 관련 총교통사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과 (n=422) | 102 |
| <표 5-20> 차대차 사고 대안모형(GWR) 분석 결과 | 105 |
| <표 5-21> 보행자-차량 사고 대안모형(GWR) 분석 결과 | 106 |
| <표 5-22> 자동차 관련 총 교통사고 대안모형(GWR) 분석 결과 | 107 |
| <표 5-23> 기준모형 대비 공간모형의 설명력 비교 | 109 |
| <표 5-24> GWR 모형의 OLS 개선효과 검증 | 110 |
| <표 5-25> 서울시 교통사고 유형별 최적 모형 검토 | 111 |
| <표 5-26> 서울시 교통사고 유형별 인접 TAZ의 영향력 검토 | 112 |
| <표 5-27> 공간적 요인간 교차항 분석 | 112 |
| <표 5-28> 분석모형별 SRMSE 분석 결과 | 114 |
| <표 5-29> 사고유형별 최적의 전역적 모형 비교 | 120 |
| <표 5-30> 사고유형별 국지적 모형의 최적 모형 비교 | 121 |
| <표 5-31> 공간적 요인 변화에 따른 교통사고 영향 분석 | 123 |
| <표 5-32> GWR 모형별로 설명변수가 유의($\alpha=0.1$)한 TAZ 비율 검토 · | 124 |
| <표 5-33> 아파트비율 더미변수의 차대차사고 감소영향에 대한 지역별 특성 검토 | 127 |
| <표 5-34> 아파트비율 더미변수의 보차사고 감소영향에 대한 지역별 특성 검토 | 127 |
| <표 5-35> 공간적 안정성 검증을 위한 TAZ 이분방법 | 130 |
| <표 5-36> 이분 기준별 주요 기초통계량 비교 | 130 |
| <표 5-37> 서울시 교통사고 유형별 기준모형의 우도비 검정 결과 | 131 |
| | |
| <표 부록-1> 소득 10분위별 가구당 가계수지(도시, 2인 이상) | 141 |
| <표 부록-2> 차량단독사고 기준모형(OLS) 분석 결과 | 142 |
| <표 부록-3> 차량단독사고 기준모형(OLS) 진단 | 143 |
| <표 부록-4> 차량단독사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과 | 145 |

| | |
|---|-----|
| <표 부록-5> 차량단독사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과_선형 종속 변수 | 146 |
| <표 부록-6> 차량단독사고 대안모형(GWR) 분석 결과 | 147 |
| <표 부록-7> GWR ANOVA 결과 | 148 |
| <표 부록-8> 무작위적 구분에 의한 그룹별 기초통계량 | 149 |
| <표 부록-9> 아파트 면적비율 더미에 의한 그룹별 기초통계량 | 150 |
| <표 부록-10> 서울시 평균지가를 기준으로 한 그룹별 기초통계량 | 151 |
| <표 부록-11> 한강을 기준으로 한 그룹별 기초통계량 | 152 |

그 립 목 차

| | |
|--|----|
| <그림 1-1> 본 연구의 구성 및 흐름도 | 8 |
| <그림 2-1> 교통사고(Y) 분류체계 | 11 |
| <그림 2-2> 인구-교통량-교통사고와의 관계 | 23 |
| <그림 3-1> 공간계량모형 분석과정 | 34 |
| <그림 3-2> 서울시 토지이용복합정도의 분포 현황 | 47 |
| <그림 3-3> 서울시 제한속도(PSL)별 도로연장구성비율 | 50 |
| <그림 4-1> 서울시 교통사고 발생추이(1970~2011) | 57 |
| <그림 4-2> 우리나라 교통사고 사망자 현황 | 58 |
| <그림 4-3> 보행자 사망자 및 보행자 비율에 대한 국가간 비교 | 59 |
| <그림 4-4> 지역별 보행자-차량사고에 의한 사망자수 비율(%) | 59 |
| <그림 4-5> 유형별 사고건수와 VKT간의 관계 검토 | 68 |
| <그림 4-6> 사고가 발생하지 않은 TAZ의 공간적 위치 | 71 |
| <그림 4-7> 1건 발생한 TAZ의 공간적 위치 | 71 |
| <그림 4-8> 아파트비율변수의 히스토그램 검토 | 72 |
| <그림 5-1> 인접성 방식에 따른 인접존 개수의 히스토그램 비교 | 76 |
| <그림 5-2> 종속변수($\ln Y$)와 공간시차변수($W_1 \ln Y$)간 산점도 | 77 |
| <그림 5-3> 차대차 사고 변수의 히스토그램 검토 | 81 |
| <그림 5-4> 제한속도별 연장에 따른 차대차 사고 영향 비교 | 84 |
| <그림 5-5> 차대차 사고 기준모형(OLS)의 잔차 분석 | 86 |
| <그림 5-6> 보행자-차량사고 기준모형(OLS)의 잔차 분석 | 94 |

| | |
|---|---------|
| <그림 5-7> 종속변수의 정규성 검토 | 98 |
| <그림 5-8> 연령계층별 변수의 히스토그램 검토 | 99 |
| <그림 5-9> 자동차 관련 교통사고 기준모형(OLS)의 잔차 분석 | 99 |
| <그림 5-10> 토지이용 다양성 변수의 분포 | 103 |
| <그림 5-11> GWR 차대차 사고모형의 R^2 분포 | 103 |
| <그림 5-12> PSL 60km/h인 도로비율 변수 | 104 |
| <그림 5-13> PSL 30km/h인 도로비율 변수 | 104 |
| <그림 5-14> GWR 보차사고모형의 R^2 분포 | 106 |
| <그림 5-15> PSL 60km/h 도로비율변수 | 106 |
| <그림 5-16> 자동차 관련 사고모형의 R^2 분포 | 108 |
| <그림 5-17> PSL 60km/h 도로비율변수 | 108 |
| <그림 5-18> 더미변수 변화에 따른 종속변수의 변화 비교 | 116 |
| <그림 5-19> 사고유형별·변수별 통계적으로 유의한 TAZ 점유율(%) | 125 |
| <그림 5-20> 아파트더미변수의 영향_차대차 | 126 |
| <그림 5-21> 아파트더미변수의 영향_보차 | 126 |
| <그림 5-22> GWR 결과 활용_새로운 연구대상지역 도출 | 128 |
| <그림 5-23> 무작위에 의한 TAZ 구분 | 130 |
| <그림 5-24> 아파트면적 비율에 의한 구분 | 130 |
| <그림 5-25> 평균지가 이상 여부 더미 | 131 |
| <그림 5-26> 한강에 의한 지역 구분 | 131 |
| <그림 6-1> 공간가중치행렬의 공간적 확장 | 139 |
| <그림 부록-1> 자동차 관련 교통사고 기준모형(OLS)의 잔차분석 | 143 |

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

현대 사회에서 교통안전은 교통복지 차원에서 국가가 국민에게 제공해야 할 기본의무로 인식되고 있으나 이러한 인식이 처음부터 존재했던 것은 아니었고 비단 우리나라에서만 요구되는 현상도 아니다. 일반적으로 국가의 소득수준이 일정수준 이상으로 높아진 이후에야 교통안전에 대한 국민의 요구가 증가하고, 국가는 이에 대응하여 다양한 정책들을 수립 실천해 왔다. 아쉬운 점은 대부분의 국가에서 국가 경제가 성장하고 있는 시기에 선제적으로 안전에 대응하지 못하고 교통사고가 사회문제화되고 나서야 후속대책으로 교통안전 관련 법제도와 정책이 도입 또는 강화되었다는 점이다.

우리나라의 경우 자동차 등록대수가 급증하면서 교통사고도 함께 증가하기 시작하였는데, 1997년(당시 1인당 GDP \$11,176) 자동차 등록대수가 천만대를 넘었고, 1991년도(GDP \$7,105)의 교통사고 사망자수는 13,429명으로 최대치²⁾를 기록하였다. 이는 2010년(GDP \$20,562) 사망자수인 5,505명과 비교하여 약 2.5배에 달하는 수치이다. 이에 1988년(GDP \$4,435)부터 교통사고 잦은 곳 개선사업을 시행해 오고 있으며, 2015년(GDP \$28,338)까지 총 20,141개소, 251개소³⁾의 교통사고 잦은 곳을 개선하였다.

또한 교통사고를 줄이기 위한 법제도 및 조직⁴⁾을 정비하고, 교통안전 기본계획⁵⁾을 수립하였으나, 1990년 후반까지도 교통안전이 정부조직과

2) 국토해양부, 2015년도 교통안전연차보고서, 2015. 8.

3) http://www.koroad.or.kr/kp_web/safeBiz4.do 참조

4) 1961년 도로법 및 도로교통법 제정 및 교통부에 안전담당기구로서 안전담당관 설치, 교통안전법이 1979년에 제정되기 전까지 교통안전과 관련된 법은 도로법 및 도로교통법에서 관장

인력 면에서 높은 우선순위를 가지지 못하였다.⁶⁾ 2000년(GDP \$10,841) 들어와서 안전정책이 강화되었고, 2002년(GDP \$12,100)에 교통법칙금이 자동차교통관리개선특별회계 세입에 편입되었으며, 2006년(GDP \$19,691) 교통안전법을 전면 개정하면서 교통안전에 대한 지자체의 책임을 강화하였다. 또한 교통안전 문화 정착을 위한 캠페인⁷⁾ 등의 활동이 현재에도 지속적으로 이루어지고 있다.

그러나 OECD국가 중 우리나라의 교통사고 사망자수는 가장 높은 수준으로 교통안전의 개선효과는 미미하다고 볼 수 있는데, 그 이유는 교통사고가 발생하기까지 수많은 공간상호작용을 분석하고 이해하는 과정이 결여되었기 때문이다. 차량과 차량, 사람과 차량이 상호작용하는 모든 도로 공간에는 잠재적 위험이 항상 내포되어 있다. 즉, 공간적 특성이 교통사고에 영향을 미치므로 동일한 도로조건(차로수, 제한속도, 안전시설물 등)일 경우에 교통사고의 위험은 같을 수도 있고 달라질 수도 있다. 즉, 교통사고는 인접한 공간에 의해 영향을 받는 종속성과 이질성을 동시에 가지고 있다. 따라서 이러한 특성을 고려할 수 있는 공간분석이 필요하다. 교통사고에 대해 공간분석을 시행할 경우 교통사고가 많이 발생하는 지역에 영향을 미치는 다양한 영향요인에 대한 고려가 가능하며, 이를 통해 이 지역의 교통사고 요인이 통제 가능한 변수인지 아닌지를 파악함으로써 교통안전 확보에 효과적인 대응방안을 마련할 수 있다.

사전에 예측할 수 없는 경우에 대해서도 교통안전을 확보하기 위해서는 교통안전 관련 법제도 및 조직, 교통안전 개선사업, 사람들의 질서의식, 교통 안전문화 등이 유기적으로 맞물려 있어야 하고 현재 우리나라의 경우 잘 시행되고 있다. 그러나 이전보다 더 많은 예산과 인력을 투입하고 있음에도 불구하고 교통사고의 감소세가 뚜렷하게 나타나지 않는 이유는

5) 1982년에 제1차 교통안전기본계획(1983~1986) 수립

6) 1998년 정부 조직 개편시 기존의 교통안전국(1국 5과 47명)에서 교통안전과(1과 10명)로 대폭 축소

7) 운전 중 휴대전화 사용금지, 정지선 지키기 생활화 운동, 교통법규 위반 신고보상금제 등

교통사고를 여전히 선제적 대응이 아니라 사후에 처리하는 것이라는 기본인식이 지배적이기 때문이다. 예를 들어, 사고발생 지점 위주의 개선 사업이 교통사고 총량 자체를 감소시키는 근본적인 대안으로서 실효성이 있는지 여부는 면밀한 검토가 필요한 문제이다. 이와 같이 수면위로 드러난 다양한 정책들보다 중요한 것은 우리나라 또는 대도시 교통사고의 발생 특성을 이해하고 분석하는 과정이 충분히 이루어진 후에 대응방안을 수립하고 이를 정책에 반영하거나 사업화해야 된다는 것이다. 즉, 어떠한 공간에서 사고가 많이 발생하는 지를 유형화하고 이와 유사한 공간을 선제적으로 개선해나감으로써 또는 도시계획 단계에서부터 안전한 도시공간을 제공함으로써 사후에 발생할 수 있는 사고 가능성을 저감시켜야 한다.

공간상에서 발생한 모든 현상에는 반드시 원인이 존재하며, 교통사고 역시 공간상에 존재하는 다양한 주체들의 상호 작용을 통해 발생하게 된다. 여기서 주체란 사고 차량의 정비상태, 운전자의 신체적·심리적 상태, 주변 차량, 교통신호, 교통소통상태, 기하구조, 기상상태, 주변의 보행자, 토지이용 등 다양한 요소들을 의미한다. 운전자는 주변의 상황과 끊임없는 상호작용을 통해 입력된 정보를 처리하며 운전을 하고, 어느 순간 예기치 못한 상태에서 사고와 직면하게 된다. 이와 같은 다양한 상호작용 요소 중에는 정책적으로 통제 가능한 요소와 그렇지 않은 요소가 모두 포함되어 있으므로 정책적으로 통제할 수 있는 요소들에 대한 중점적인 연구가 필요하다. 그러나 현재의 교통안전 관련 연구와 사업들을 살펴보면 주로 결과로서 나타난 사고건수와 주변의 물리적 시설물만을 대상으로 하는 경우가 많다. 이는 사고건수가 제일 확실한 정량지표이기 때문이기도 하나 여기에 내재되어 있는 다양한 공간 요소들에 대한 검토도 반드시 필요하다.

교통사고 발생을 선제적으로 방지하고 사후에 효과적으로 대응할 수 있는 정책을 도입하기 위해서는 교통사고에 영향을 미치는 다양한 요소 중에서도 특히 공간적 요소에 대한 연구가 필요한 실정이다. 그러나 여러 가지 여건상의 제약으로 인해 교통사고에 대한 공간분석은 종속변수 및 설명변수 측면에서 다양한 연구가 이루어지지 못하고 있다. 특히, 교통사고

건수 및 부상심각도에 따른 연구는 있으나, 사고형태(차대차, 차대사람, 차량 단독)에 대해 영향을 미치는 공간적 특성에 대한 연구는 전무한 실정이다. 공간분석을 시행하기 위해서는 공간단위로 수집된 대규모 집계 자료(aggregated data)가 있어야 하고 이 데이터가 GIS 분석이 가능한 형태여야 하는 등 분석을 위한 제반여건이 갖추어져 있어야 하기 때문이다. 최근 들어 GIS를 활용한 공간적 분석에 대한 제반 여건이 마련되었고, 다양한 분석이 활발히 시도되고 있다.

이에 본 연구의 목적은 다음과 같이 네 가지로 설정하였다.

첫째, 공간계량분석⁸⁾을 통해 서울시의 교통사고의 발생 특성을 통계적으로 가장 잘 나타낼 수 있는 모형을 제시한다. 본 연구에서는 기준모형을 일반회귀모형(Ordinary Least Squares regression, 이하 OLS)으로 설정하고, 공간적 상관성을 고려하는 전역적 모형으로 공간오차모형(Spatial Error Model)과 공간시차모형(Spatial Lag Model)을 분석하고, 공간적 이질성을 함께 고려하는 국지적 모형으로 지리적 가중회귀모형(Geographically Weighted Regression, 이하 GWR)을 분석한다⁹⁾.

둘째, 서울시와 같은 대규모 복합도시에서 발생하는 교통사고가 공간적으로 어떤 특성을 가지고 있는지를 분석하고자 한다. 즉, 공간적으로 종속적인지, 이질적인지, 아니면 두 가지 측면을 모두 가지고 있는지에 대한 분석을 위해 적절한 분석모형과 변수들을 고려하여 분석하였다.

셋째, 교통사고를 사고형태(차대차, 차대사람, 차량 단독)로 구분하고 각각의 사고형태에 영향을 미치는 다양한 변수들을 발굴하고자 한다. 교통사고 발생에 미치는 다양한 공간특성변수들을 발견하고 이를 근거로 개선

8) 본 연구에서는 공간계량모형, 공간분석, 공간계량경제를 모두 동일한 의미로 사용하였음을 밝힌다.

9) 종속변수 외에 설명변수의 공간적 종속성을 고려한 공간더빈모형(Spatial Durbin Model)과 공간오차모형과 공간더빈모형을 결합한 공간더빈오차모형도 있으나, 본 연구에서는 서울시 교통사고 유형별 발생요인 분석을 위한 실증적 연구이므로 가장 기본이 되는 모형이면서 비교와 해석이 명확한 공간계량모형을 적용하였다.

사업의 내용을 결정하여 도시교통계획의 초기단계에서부터 이러한 공간적 요소들이 반영되도록 시스템화함으로써 궁극적으로 사람들의 행태를 안전하게 변화시킬 수 있도록 도시공간을 재편하는 방안을 검토하고자 한다.

넷째, 교통사고의 발생특성을 고려한 공간계량분석 결과에 대한 계수 안정성 검증을 통해 공간적 안정성 여부를 통계적으로 검증한다.

제2절 연구의 범위

본 연구는 서울시 423개의 교통분석존(Traffic Analysis Zone, 행정동 기준, 이하 TAZ)¹⁰⁾을 공간적 범위로 하며, 서울시 교통사고 데이터¹¹⁾ 및 도로 및 교통, 인구통계 및 사회경제지표 등의 분석데이터¹²⁾는 2010년을 기준으로 하였다. 내용적 범위는 국외 선행연구 검토를 토대로 교통사고 발생 특성 분석 모형 및 변수를 설정하고, 구득 가능성을 고려하여 분석에 필요한 데이터를 구축하며, 공간계량분석을 위한 연구방법론을 정립하고 이에 따라 교통사고 발생에 영향을 미치는 변수 및 교통사고의 발생특성을 파악하는 것이다. 공간계량분석 모형으로는 공간시차모형과 공간오차모형, 일반공간모형, GWR을 적용하였는데, 기준 모형인 OLS 대비 통계적으로 가장 신뢰할 수 있는 모형을 선정하고 그 차이를 비교하였다. 분석에 필요한 공간가중치는 분석틀에서 제공하는 공간가중치를 모두 적용해 보고 통계적으로 유의하면서 가장 높은 상관성을 나타내는 공간가중치를 선정 하였다. 또한 분석결과를 토대로 자동차 관련 교통사고 및 유형별 교통사고의 발생 특성을 파악하였다.

10) 교통사고 데이터는 법정동 단위로 수집되나 본 연구에서는 향후 교통계획단계에서 교통안전을 고려할 수 있도록 GIS 매칭을 통해 교통계획 분석존 단위인 행정동 체계로 전환하였다.

11) 본 연구에서 사용한 교통사고데이터는 교통사고분석시스템(TAAS) 자료임을 밝힌다.

12) 본 연구에서 사용한 교통사고 및 공간데이터는 2014년 국토연구원의 의뢰를 받아 본 대학원에서 수행한 「교통사고의 시공간적 발생 특성 연구」에서 구축한 데이터이며, 이를 일부 수정하여 본 논문에서 활용하였음을 밝힌다.

제3절 연구의 수행방법

본 연구에서는 교통사고의 발생특성을 분석하기 위하여 첫째, 선행연구 고찰을 통해 유형별 교통사고에 영향을 미칠 것으로 예상되는 후보변수를 설정하고 이에 대한 현실적 구득 가능성과 연구목적과의 부합성을 고려하여 분석항목을 최종 선정하였다. 분석데이터의 선정단계에서부터 분석결과와 교통안전정책간의 정합성을 염두에 둬으로써 분석결과의 실효성을 제고하고 연구의 차별성을 확보하고자 하였다.

둘째, 분석에 필요한 가로 및 토지이용, 교통환경, 교통사고, GIS 데이터를 수집·구축하고 데이터의 정합성을 검토한 후, 기초분석을 수행하였다. 공간데이터의 구축단위를 검토하고 이를 다양한 GIS기법을 통해 연구의 목적에 맞게 데이터 및 테이블을 재생성하였다. 기초 분석을 수행하여 데이터의 요약 통계량(Summary statistics)을 도출하였다.

셋째, 공간계량경제(Spatial econometrics) 분석 과정을 정립하고 이를 통해 교통사고의 공간적 발생특성에 영향을 미치는 변수들을 분석하고 해석하였다. 예를 들어 간선도로 축의 혼잡을 해소하기 위해 시행한 교통소통정책들이 교통안전에는 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다.

마지막으로 분석모형에 대한 검증을 실시하고 분석결과를 정책적 측면에서 해석하고 시사점을 도출함으로써 서울시 교통사고 발생 특성을 이해하고 정책과의 정합성을 찾는 데 일조하였다.

제4절 연구의 의의 및 구성

본 연구는 국내 연구에서는 아직 시도한 사례가 없는 다양한 종속변수 및 설명변수를 분석하여 교통정책적으로 의미있는 분석결과를 제시하였다. 또한 교통사고 발생 특성을 가장 효과적으로 설명할 수 있는 통계적 모형을 제시하였다는 점에서 연구의 의의를 찾을 수 있다.

본 연구는 총 6개의 장으로 구성되었다. 제2장에서는 국내외 관련 선행연구

구들을 검토하여 시사점 및 본 연구의 차별성을 도출한다. 제3장에서는 교통사고 발생 특성을 분석하기 위한 연구방법론을 정립한다. 이를 위해 공간가중치 결정 및 공간계량 분석 시행에 필요한 통계적 검증 및 추정방법을 설명하고 공간분석을 위한 기준모형과 대안모형을 설정한다. 제4장에서는 본 연구의 공간적 범위인 서울시의 교통사고 현황 및 특성을 분석하고 분석자료의 구축과정 및 방법과 기초통계량을 제시한다. 제5장에서는 기준모형 분석 및 진단을 통해 전역적 대안모형과 국지적 대안모형을 분석하고 분석결과에 대한 통계적 검증을 통해 교통사고 발생 특성 분석을 위한 최적 모형을 선정한다. 또한 최적모형의 안정성 검증을 통해 서울시 교통사고 발생 특성을 분석하고 추론하며, 분석 결과의 활용방안을 제시한다. 마지막으로 제6장에서는 분석결과를 요약하고, 서울시 교통사고 발생 특성에 대한 정책적 시사점 및 본 연구의 한계와 향후 연구방향을 제시한다.

본 연구의 수행절차는 <그림 1-1>과 같다.

| | 수행 절차 | 주요 내용 |
|----|--------------------|---|
| 1장 | 서론 | • 연구의 목적 및 배경, 범위 제시 |
| ↓ | | |
| 2장 | 선행연구 고찰 | • 교통사고 관련 선행연구의 시사점 도출 • 본 연구의 차별성 검토 |
| ↓ | | |
| 3장 | 연구방법론 정립 | • 공간가중행렬 검토 • 공간적 상관성(전역적, 국지적) 판단 • 공간분석모형 설정(종속/독립변수, 기준/대안모형) |
| ↓ | | |
| 4장 | 자료 구축 및 분석 | • 서울시 교통사고 현황 및 특성 분석 • 공간데이터 자료 구축 • 기초통계량 분석 |
| ↓ | | |
| 5장 | 교통사고 발생특성 분석 | • 기준모형 분석 및 진단(Diagnosis) • 전역적 대안모형 분석 • 국지적 대안모형 분석 |
| | 최적 모형 선택 및 분석결과 해석 | • 대안모형의 통계적 검증 • 유형별 교통사고 분석을 위한 최적모형 선택 및 해석 |
| | 분석결과의 활용방안 | • 시나리오 분석을 통해 교통사고 발생 영향 제시 • 국지적 공간모형분석을 통한 결과의 활용방안 • 최적 모형의 안정성 검증 |
| ↓ | | |
| 6장 | 결론 및 향후 연구과제 | • 결론 및 정책적 함의 • 향후 연구과제 |

〈그림 1-1〉 본 연구의 구성 및 흐름도

제2장 선행연구 고찰 및 시사점 도출

제1절 선행연구 고찰

교통사고 발생 특성에 대한 시사점을 얻기 위해 관련 선행연구는 사고분석 모형의 특성, 함수형태, 종속변수별 영향요인 및 연구방법론, 주요 설명변수 등에 대해 고찰하였다. 다만 본 연구에서는 분석범위가 도시부인 경우를 위주로 선행연구를 고찰하였다.

1. 교통사고 분석 모형 및 함수형태

1) 교통사고 분석모형

교통사고 분석모형은 크게 가산모형(Count model), 공간모형(Spatial model), 그리고 베이지안 모형(Bayesian model)으로 구분할 수 있다. 가산 모형으로는 주로 포아송모형(Poisson model) 및 음이항모형(Negative Binominal model)이 적용되며, 공간모형에는 전통적인 모형으로 공간오차 모형(SEM), 공간시차모형(SLM), 일반공간모형(SAC; General Spatial Model), 지리적가중회귀(GWR) 등이 있으며 이 모형들은 공간적 상관성을 고려하는 공간적 범위가 전역적인지, 국지적인지에 따라 전역적 모형과 국지적 모형으로 구분된다. 이외에 MCMC(Marcov Chain Monte Carlo) 방법을 통해 추정되는 베이지안 위계모형(Bayesian hierarchical model)(Besag 외, 1991) 등이 있다. 적용되는 모형에 따라 종속변수 및 설명변수의 집계단위 및 특성이 달라지게 된다.

<표 2-1> 교통사고 분석모형 검토

| 비공간모형 | | 공간모형 | 베이지안분석 | 연구자 (연구년도) |
|-------|----------|------------|--------|----------------------|
| OLS | 가산모형 | | | |
| - | √(NB) | - | √(BHM) | Siddiqui 외(2012) |
| - | √(NB) | √(SEM) | √(BHM) | Quddus(2008) |
| √ | - | - | - | Wier 외(2009) |
| √ | - | √(SEM/SLM) | - | Lascala 외(2000) |
| - | √(NB 패널) | - | - | Nolan & Quddus(2012) |
| - | √(NB) | - | - | Wang 외 (2009) |
| √ | - | √(GWR) | - | Hadayeghi 외(2010) |

주 : NB 음이항 모형, SEM 공간오차모형, SLM 공간시차모형, GWR 지리적 가중회귀모형
BHM 베이지안 위계모형

Quddus(2008)는 2001년도에 런던에서 발생한 교통사고의 심각도(사망, 심각한 부상, 경상)별 건수 및 도로이용자(자동차 관련 사고, 자동차와 관련 없는 사고, 노약자 관련 사고)별 사고심각도를 종속변수로 하여 공간 분석모형을 분석하였다. 이때 집계단위는 센서스 집계단위인 census ward이며, 총 633개의 ward가 분석에 사용되었다. Quddus의 연구 목적은 비공간모형(음이항모형)과 공간모형(공간오차모형), 베이지안 위계모형의 결과를 비교하는 것이다. 633개 ward에서 수집된 데이터에 대한 Moran's I 검증 결과, 공간적 종속성이 나타나 공간모형을 적용하였다. 그러나 공간시차 모형의 경우 자기상관회귀계수가 통계적 유의성을 확보하지 못하였고 공간 오차모형의 경우는 통계적 유의성을 확보하였으나, 심각한 부상사고, 경상사고, 자동차 관련 경상사고의 종속변수만이 통계적으로 유의한 모형으로 분석되었다. NB모형의 경우 공간데이터에 적용하기는 적합하지 않으나 가장 적합한 모형으로 제안한 베이지안 위계모형과 대부분의 경우에서 유사하게 나타났다고 제시하고 있다.

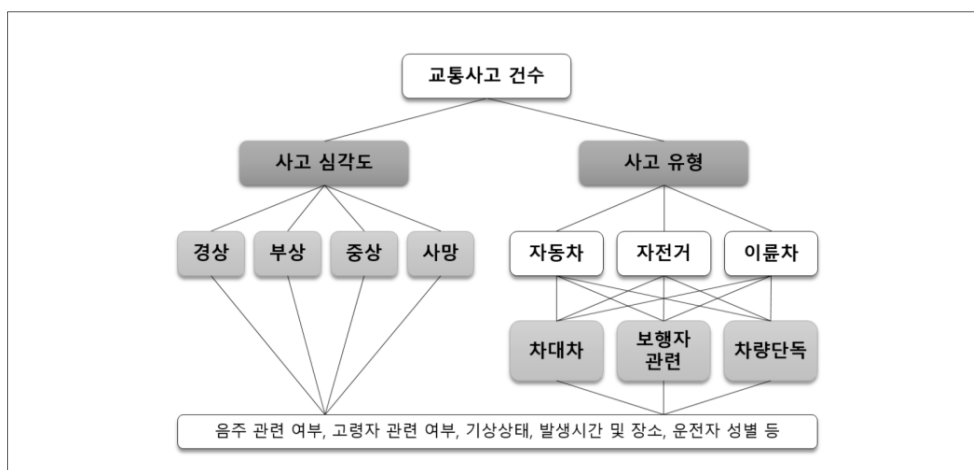
Tasica 외(2016)은 복합수단이용시설과 이용자 노출이라는 관점에서 복합운송시설과 교통사고의 관계를 살펴보았다. 대상지역인 Chicago를

대상으로 사회경제지표, 토지이용, 도로망, 교통수요, 교통사고 등의 데이터를 구축하고, census tract level에 근거한 대규모 지역에 걸친 접근을 통해 복합수단 이용자가 마주하게 되는 안전문제를 폭넓게 다루었다. 모형은 고정효과와 확률효과를 고려한 음이항회귀모형을 적용하였고, 종속 변수로 차량 관련 사고(vehicle-only crashes), 비자동차 관련사고, 차량 관련 사고 중 사망사고에 대해 모형을 정립하였다.

한수산(2011)의 연구에서는 사고유형에 따른 영향요인을 분석하기 위해 포아송 및 음이항모형을 이용하여 분석하였다. 분석결과 차대차 모형에는 일평균교통량, 우회전 별도차로, 과속방지턱, 진출입구수가 포함되었고, 보행자-차량사고모형에서는 일평균 교통량과 횡단보도수만이 통계적으로 유의하게 포함되었다.

2) 교통사고 분석모형 종속변수

선행연구에서 활용한 종속변수 유형으로는 우선 자동차 관련 유무에 따라 구분한 후 이를 다시 심각도 유형별로 구분한 연구가 가장 많았으며, 특히 교통사고 위험에 취약한 도로이용자(Vulnerable Road User)와 관련된 교통사고 모형을 별도로 분석하였다.



〈그림 2-1〉 교통사고(Y) 분류체계

<표 2-2> 교통사고(Y) 유형 구분 사례

| 구분 | 1차 분류 | 2차 분류 | 관련 연구 |
|------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 유형 1 | 총 사고 | - | Hedayeghi 외 (2010) |
| | 사망 및 부상사고 | | |
| 유형 2 | 총 사고 | - 사망사고 - 심각한 부상사고 - 경상사고 | Quddus (2008) Wang 외 (2009) |
| | - 자동차 관련 사고 | | |
| | - 자동차 비관련 사고 | | |
| | - 교통약자 관련 사고 | | |
| 유형 3 | 보행자-차량 충돌사고 | 부상사고 | Wier 외 (2009) |
| 유형 4 | 보행자 및 자전거 관련 사고 | - | Siddiqui 외 (2012) |
| | | - 사망사고 - 심각한 부상사고 | Nolan & Quddus (2012) |
| 유형 5 | 보행자 관련 사고 | 부상사고 | Lascala 외 (2000) |
| | 음주상태 보행자 관련 사고 | | |

3) 교통사고 분석모형 함수형태

음이항모형은 특정 시점에 특정 단위 i (예, TAZ)에서 발생한 총교통사고건수가 경계를 접하고 있는 인접한 TAZ j 에서 발생한 교통사고와 무관하다고 가정한다. 즉, 지리적 공간상에서의 독립성을 가정한다. 선행연구에 따르면 사고데이터는 보통 과분산문제를 처리할 수 있는 음이항분포를 따르는데, 이때 과분산은 설명변수가 설명하지 못하는 관측되지 않은 이분산성에 의해 발생한 것일 수 있다. Quddus(2008)의 NB모형식은 생략된 변수에 의해 관측되지 않은 이분산성을 통제할 수 있으나, 이 모형의 경우 공간적 종속성(즉, 자기상관효과)을 전혀 설명할 수 없다. 즉, NB 회귀모형은 전통적인 회귀모형에서 사용되는 Gauss-Marcov의 가정을 위반하게 만드는 공간적 상관성을 무시한다. 반면 이웃효과를

통제하는 공간모형은 공간적 상관성과 관측되지 않은 이분산성을 적절히 설명할 수 있다(Anselin, 1988). 연속변수를 활용한 공간계량모형으로는 공간적으로 시차된(lagged) 종속변수를 설명변수에 포함하는 공간시차 모형과 공간적으로 시차된 오차항을 설명변수에 포함시키는 공간오차 모형이 있다(Anselin, 1988). 시차항은 공간적으로 인접한 TAZ에 의해 가중평균된 종속변수값으로 볼 수 있다. 공간적 시차항은 오차항과 상관성이 있는 것으로 가정된다.

<표 2-3>에서 살펴본 바와 같이 공간적 종속성에 대한 고려 여부와 관계없이 가장 일반적인 교통사고 분석모형은 대수선형(log-linear) 관계로 정의된다. 일부 연구에서 음이항모형과 공간모형의 계수 및 결과를 비교하기 위해 종속변수를 노출변수(Exposure Variable)에 대한 비율변수로 전환한 후에 로그를 취하였다. 선행연구에서 적용한 설명변수는 이론적으로 지역단위(area-wide) 교통사고건수의 변동을 설명하는데 중요할 것이라는 원칙하에 선정되었다. 일반적으로 총차량주행거리(VKT)와 같이 교통흐름 또는 평균속도와 같은 교통특성들은 모든 모형에서 중요하게 나타난 것을 알 수 있다. 또한 관측치가 없는 설명변수 중 일부에 로그를 취하였다. 로그 변환은 일반적으로 변수간 분산과 변수내 분산을 감소시킨다(Gujarati, 2003). 또한 로그 변환시 계수값이 단순한 기울기 값이 아니라 탄력성과 같아지므로 계수값의 해석이 더 쉬워지는 이점이 있다.

그러나 Quddus(2008)에 따르면, 사망사고와 같이 상대적으로 작은 값을 갖는 경우 가산데이터의 정수형태(integer structure)를 그대로 유지하는 것이 중요하다고 제시하였다¹³⁾. 왜냐하면 심각한 부상사고에 대한 공간오차모형(SEM)에서 잘못된 설명변수가 통계적으로 유의하게 나타났기

13) 가산모형에서는 정수형태 유지가 가능하나, 공간모형 적용시 로그변환을 통해 이산변수가 연속변수로 수정되므로 이 경우 설명변수의 통계적 유의성이 잘못 나타날 수 있다는 것이다. Quddus(2008)의 연구에서 심각한 부상사고의 평균값은 26.8건으로 가벼운 부상사고의 평균값인 180건에 비해 상대적으로 낮는데 심각한 부상사고를 종속변수로 하는 음이항모형과 공간오차모형에서 평균속도(km/h)의 증가시 심각한 부상사고가 감소하는 것으로 나타났기 때문이다.

때문이다. 따라서 상대적으로 작은 값의 이산변수(discrete count variable)를 연속변수(continuous variable)로 변환하는 것이 적절치 않을 수 있다고 제시하였다.

선행연구 검토 결과, 공간모형 비공간모형 관계없이 Log-linear 형태의 함수식이 적용되었으며, 선행연구에서는 선형모형의 정규성 가정을 충족시키기 위해 일반적으로 교통량이나 차량주행거리, 종사자밀도, 인구 관련 변수 등을 로그로 변환하여 모형에 포함(Wier et al., 2009; Hadayeghi et al., 2003; Jacobsen, 2003; Lovegrove and Sayed, 2006)시킨 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서도 기본적인 함수 형태를 대수선형관계로 정의하고 종속변수를 로그로 변환하였다. 또한 설명변수에 대해서는 선행연구에서 로그를 취한 변수에 대해서는 우선적으로 로그를 취하되 히스토그램 및 정규성 검토를 통해 설명변수의 형태¹⁴⁾를 결정하였다. 다만, 관측치에 0값이 있는 경우 로그를 취할 수 없으므로 0이 있는 경우 가산자료를 그대로 사용하였다.

14) 로그변환을 포함하여 다양한 변수 변환 형태(cubic, square, 원래 형태, sqrt, log, 1/sqrt, inverse, 1/square, 1/cubic 등)를 검토하였다.

<표 2-3> 주요 선행연구의 함수형태 검토

| 연구자 (년도) | 적용모형 | 모형식 | 설명변수 형태 |
|------------------|--|---|---|
| Quddus (2008) | 사고심각도별 비공간모형 (NB) | <ul style="list-style-type: none"> • $\ln(\theta_i) = \ln(EV_i) + (\beta_0 + \beta X_i + \epsilon_i)$ - EV : 노출변수(Exposure Variable) | <ul style="list-style-type: none"> • \ln 교통량(pcu km/h) • \ln 연령계층별 인구수 • \ln 종사자수 • \ln 차량미보유가구수 • \ln 버스정류장수 ※ 최소값 4 • 평균속도(km/h) • 도로연장(km) ※ 노출변수는 공간단위 내에 존재할 차량대수이며, 별도 식을 통해 산정 |
| | 사고심각도별 공간모형 (SEM/SLM) | <ul style="list-style-type: none"> • 공간모형(SEM/SLM) 기본식을 대수 변환(log-transformation)하여 사용 • [SLM] $\ln(\frac{Y_i}{EV_i}) = \rho W \ln(\frac{Y_i}{EV_i}) + \beta X_i + \epsilon_i$ • [SEM] $\ln(\frac{Y_i}{EV_i}) = \beta X_i + \lambda W u_i + \epsilon_i$ • 2000~2002년에 발생한 사고건수를 심각도 및 이용자별로 구분하여 총 9개 모형 설정 • 이중 종속변수가 0의 값을 갖지 않는 3개 모형에 대해서만 공간모형 적용 | |
| Wang 외 (2009) | 보행자-차량 충돌에 의한 부상사고별 비공간모형 (NB) | <ul style="list-style-type: none"> • $\ln(u_i) = \beta_0 + \beta X_i + \epsilon_i$ • 15개의 종속변수 설정 ※ 모두 최소값으로 0값을 가지나 이에 대한 특별한 설명은 없음 • 공간적 상관성을 고려하지 않는 NB 모형의 단점을 극복하기 위해 지역 더미변수 설정하여 지역 효과의 존재를 확인 • 설명변수간 큰 분산으로 인해 인구 및 종사자수와 교통량은 로그변환 | <ul style="list-style-type: none"> • \ln 교통량(pcu) • \ln 인구수 • \ln 고용자수 • 도로연장밀도(m/km²) • 평균속도(km/h) • (회전)교차로수 ※ 최소값 0 • 지역더미(9개) |
| Wier 외 (2009) | 보행자-차량 충돌에 의한 부상사고 회귀모형 (OLS) | <ul style="list-style-type: none"> • $\ln(PIC) = \beta_0 + \sum \beta_i X_i$ - PIC는 보행자 부상사고(Pedestrian Injury Collision)를 의미함 • PIC가 0인 census tract(3개)에 1값을 부여하여 모형에 포함시켰음을 밝힘 - 구글 맵을 통해 도로 구조 및 녹지 비율 등 네트워크 특성을 육안으로 확인 후 최종적으로 1개의 tract은 제외시키고 분석 수행 | <ul style="list-style-type: none"> • \ln AADT • \ln 고용자수 • 도로연장비율(%) • 상업지구비율(%) • 지역면적(mi²) • 인구수 • 빈곤층비율(%) • 65세 이상인구비율(%) |

2. 사고유형별 영향요인

Quddus(2008)는 설명변수로 교통흐름지표(PCU km/h), 평균속도(km/h), 분기점(Junction) 수, 회전교차로수, 자동차 전용도로 연장, A급 도로연장, B급 도로연장, 버스정류장수, 60세 이하 주거인구, 60세 이상 주거인구, 고용자수, 차량을 소유하지 않은 가구수, 자동차 등록대수 등을 사용하였다.

Michalaki 외(2016)은 교통사고 발생에 우선적으로 영향을 미치는 교통 조건은 속도이며, 평균속도 또는 속도변화, 제한속도 등 다양하게 구분될 수 있다(Elvik et al., 2004; Aarts and van Schagen, 2006)고 주장하였다.

Peng Chen(2016)은 도시의 건조환경(built environment)이 자동차와 관련된 자전거 교통사고의 심각도(5단계¹⁵⁾)에 미치는 영향 및 사고 지점간 공간적 종속성을 분석하기 위해 Generalized ordered logit model과 Generalized additive model을 적용하였다. 주요 연구결과로서 부상 심각도는 고용밀도가 증가함에 따라 증가, 심각한 부상 및 사망사고는 토지이용 복합(land use mixture)에 의해 증가, 제한속도는 사고 심각도를 낮출 수 있는 요소이며, 토지이용복합도와 개발밀도의 증가, 더 낮은 제한속도는 자전거 이용자의 안전을 향상시킬 수 있다고 주장하였다.

또한 Ando 외(2015)은 Zone 30에 대한 인식이 교통안전을 높일 수 있는지, 일본 도요타(Toyota)시의 Motoshiro 지역을 대상으로 연구한 결과 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 주장하였다. 특히 사고경험이 있는 사람이 사고경험이 없는 사람에 비해 제한속도를 크게 인식하고 있는 것으로 나타났다.

Ouyang 외(2016)의 연구에서는 교통사고에 미치는 건조환경(Built Environment)의 영향을 살펴보기 위해 census block 단위로 데이터를 구축하고 Spatial Data Mining Approach을 사용하였다. 결과 교통사고에 영향을 미치는 다양한 환경요소를 도출하였는데, 주거 및 상업 토지이용용도는 사고발생에 중요한 역할을 하나 밀도, 다양성, 디자인 및 설

15) property damage only, possible injury, evident injury, and severe injury or fatality

계변수들은 거리나 목적지 변수만큼 교통사고 발생에서 중요한 역할을 하지 못한다고 주장했다.

교통사고 증가에 영향을 미치는 변수로 여객 AADT와 중차량(트럭) 비율(Anastasopoulos et al., 2009), 제한속도(Ulfrasson et al., 2003), 총 강수량(Aguero-Valverde et al., 2006) 등이 분석되었다.

사회경제적 변수로는 TAZ내 빈곤계층비율¹⁶⁾(Aguro-Valverde, 2013)과 도시화 단계, 복합쇠퇴지수, 주거 및 고용인구(Noland, R.B. et al., 2004) 등이 사용되었다.

교통사고 관련 선행 연구에서 다양한 공간변수들을 제시하고 있는데, 이 변수들 중에는 연구의 대상지역이나 공간적 범위 또는 집계 레벨과 무관하게 일관된 방향성을 가지는 변수도 있고 그렇지 않은 변수도 있다. 교통사고와의 관계에서 동일한 방향으로 분석되는 변수들은 인구 및 교통관련 변수들이다. 예를 들어 사고에 대한 노출지표로 사용되는 일평균교통량(AADT)(Venkataraman et al., 2013)나 차량주행거리(VMT)(Hadayeghi et al., 2003; Augero-Valverde and Jovanis, 2006; Quddus, 2008)는 교통사고 발생을 증가시키는 것으로 나타났다. 또한 지역의 도로연장(Levine et al., 1995; Hadayeghi et al., 2003; Augero-Valverde and Jovanis, 2006; Quddus, 2008; Venkataraman et al., 2013)이 증가하면 교통사고가 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 교통혼잡의 대리변수(Proxy variable)로서 사용한 도시화 진행정도(Noland et al., 2004)와 V/C비(Hadayeghi et al., 2003)는 교통사고를 감소시키는 것으로 나타났다.

또한 차량 친화적인 교통소통대책이 교통안전측면에서는 바람직하지 못한 결과를 가져온다는 결과를 많은 연구에서 제시하고 있다. Shefer and Rietveld(1997)는 도로 확장 및 확폭, 간선도로 축 개선사업 등과 같이 교통혼잡을 감소시키려는 정책이 교통안전측면에서는 예상치 못한 결과를 가져오기도 한다고 지적하였다. 또한 도로기하구조 개선이 교통사고와

16) 그러나 동일인의 연구에서 2006년에는 사망사고를 증가시키는 변수로, 2013년에는 부상 사고와 물질 피해만 있는 교통사고를 감소시키는 변수로 나타났다.

사망사고에 영향을 주는 것을 주장한 연구들(Noland, 2003; Noland and Oh, 2004; Noland and Quddus, 2004; Venkataraman et al., 2013)이 있으며, Siddiqui 외(2012)는 제한속도를 높이는 정책은 교통사고를 증가시킨다고 지적하였다. 이는 사전 예방차원 및 교통사고에 안전한 도시환경을 제공하기 위해 교통 계획이나 도로 설계단계에서부터 교통안전에 대한 개념을 도입해야 하는 이유이기도 하다.

일부 연구(Levine et al., 1995; Hadayeghi et al., 2003)에서 인구밀도 높은 지역에서 더 많은 사고가 발생한다고 주장한 반면, 일부 연구(Noland and Quddus, 2004)에서는 인구밀도가 낮은 지역의 경우 오히려 심각한 부상을 동반한 교통사고의 비율이 높게 나타났다.

또한 선행연구에서 다루고 있는 사회경제적 변수에는 소득수준, 차량 미보유 가구비율, 실업률 등이 있다. 평균소득수준이 낮은 지역일수록 사고건수가 증가하고, 소득수준이 높거나 고용자수가 많은 지역에서는 상대적으로 사고가 적게 발생하는 것으로 나타났다. 또한 보행자-차량 충돌사고는 지역 거주민의 연령이 젊을수록 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 예를 들어 Noland(2003)는 소득수준이 높을수록 사망사고 및 부상사고가 증가한다고 주장하였으나, Loukaitou-Sideris 외(2007)는 다른 위험요인이 통제된다고 가정할 때 보행자-차량간 충돌사고 위험은 소득수준이 낮은 지역에서 증가한다고 주장하였다. 마찬가지로 Augero-Valverde 외(2006)의 연구에서도 빈곤계층 비율이 높은 지역에서 교통사고가 많이 발생함을 제시하였다¹⁷⁾. 이러한 지역별 소득 수준 차이에 의한 교통사고의 차이에 대해 Huang 외(2010)는 소득수준이 높은 지역에서는 불안정한 행동을 상대적으로 덜 하기 때문에 다른 지역에 비해 안전한 것으로 여겨진다고 예측하였다.

근린의 기본적인 특성인 인구밀도가 높을수록 보행자 교통사고 증가하는

17) 이들 간의 연구 결과를 비교할 때 한 가지 주의할 점은 데이터의 집계 및 분석단위가 다르다는 점이다. 즉, Noland(2003)는 미국 50개 주를, Noland and Quddus(2004)와 Quddus(2008)는 센서스 단위(ward)를 사용한 점을 참고해야 한다.

경향이 있다(LaScala et al., 2000). 또한 근린환경에서 보행자 교통사고는 교차로에서 가장 많이 발생하는 경향이 있다. Campbell(2004)에 따르면 보행자 관련 교통사고의 약 40%가 교차로 부근에서 일어난다고 제시하고 있다. 도로의 폭도 보행자 교통사고에 영향을 준다. Zegeer 외(2004)은 도로의 차선 수가 많고 도로 폭이 넓어질수록 보행자 교통사고가 증가하는 것을 밝혔다. 교통량 및 제한속도 등의 교통 특성(Garder, 2004)과 버스정류장밀도와 같은 대중교통서비스 수준(박승훈, 2014a)도 보행자 교통사고 발생에 영향을 미친다. 버스와 지하철 같은 대중교통 수단은 보행 통행수요 증가와 자동차 이용 억제라는 긍정적인 효과가 있지만 보행약자(노인·보행자)의 교통사고 위험을 증가시킬 가능성이 있는 것으로 나타났다. 보행약자의 교통사고는 버스정류장 밀도와 지하철역 밀도와 양의 상관관계가 있었다. 대중교통수단은 수단 선택권이 부족한 교통약자의 통행권을 보장해주는 매우 중요한 수단이다. 그러나 교통약자의 경우 신체적 능력도 상대적으로 저하되어 있으므로 대중교통 이용시 오히려 보행자-차량간 교통사고에 대한 노출위험은 증가한다고 볼 수 있다. 따라서 교통약자의 통행권 뿐 아니라 안전한 대중교통 이용도 함께 보장할 수 있는 다양한 설계기법의 연구가 필요할 것이다.

박승훈(2014b)은 보행자-차량간 교통사고와 학교주변의 물리적 환경과의 연관성 분석을 통해 안전한 통학로 조성에 필요한 영향요인들을 연구한 결과, 통학로 인근 부동산의 평균 가격이 낮을수록 보행자-차량간 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 주택지와 혼합적 토지이용이 높은 학교 주변일수록 보행자-차량간 교통사고가 적음을 보여주고 있다. 이에 박승훈(2014b)은 “보행자-차량간 교통사고는 도로공간에서 발생하는 현상이나, 이를 예방하기 위해서는 가로환경뿐만 아니라 토지이용 및 학교 주변 시설물까지 함께 고려하는 복합적이고 심도있는 도시설계적 접근이 필요하다”고 주장하였다. 즉, 향후 안전한 보행통학환경 조성과 관련된 도시정책에서 이러한 물리적 환경요인을 반영할 필요가 있음을 입증한 결과라 하겠다.

버스전용차로의 사고와 관련된 연구(임삼진 외, 2006; 임준범 외, 2012)가 있으나 버스전용차로에서 이미 발생한 사고의 원인 및 사전사후비교에 그쳐 실질적으로 버스전용차로가 사고 증가에 영향을 미치는 것을 증명한 연구는 미미한 실정이다. 다만, 홍지연(2013)과 정보미(2015)의 연구에서 서울시의 버스전용차로 설치율의 증가가 총 교통사고건수를 증가시키는 것으로 나타났다.

박승훈(2014a)은 보행자 안전을 확보할 수 있는 정책을 제안하기 위해서는 차대사람간 사고에 영향을 미칠 것으로 예상되는 다양한 물리적 환경 요인에 대한 객관적이고 명확한 실증분석이 담보되어야 한다고 주장하였다. 또한 보행안전을 위해 설치한 인도의 경우 개별모형에서도 통계적으로 유의하지 않게 나타나 보행친화적인 물리적 환경이 반드시 보행자의 안전에 긍정적인 영향을 미치는 것은 아니며, 공간을 유기적이고 복합적으로 바라볼 수 있는 분석과 다양한 연구가 필요하다고 주장하였다.

이창로 외(2013)는 부동산 공간회귀모형의 적합성이 가중치행렬에 따라 달라짐을 실증적으로 제시하였다. 또한 모형간 설명력 비교에서 공간오차모형이 대부분의 연구에서 최종 모형으로 선정되었다. 특히 서울시를 공간적 범위로 한 허윤경 외(2008) 및 남기찬 외(2008)의 연구에서도 공간오차모형이 우수한 것으로 나타났다.

3. 공간적 집계단위¹⁸⁾

선행연구의 공간분석에 사용된 집계단위는 <표 2-4>와 같이 매우 다양하다. Messner 외(1999) 및 Baller 외(2001)의 주장에 따르면 공간집계단위(district, county, state 등)가 커질수록 교통사고 건수가 충분히 커져 교통사고건수가 0인 집계단위가 대상지역 전체에 대해 거의 없다면, 사고

18) 본 연구에서는 서울시와 같은 지역을 대상으로 하기 때문에 TAZ와 같은 공간적 집계단위만을 제시하였으나, 연구의 공간적 범위가 고속도로 또는 간선도로 축과 같이 도로를 대상으로 할 경우 기하구조 및 교통특성을 기준으로 동질성을 유지할 수 있는 단위구간(예를 들어, 1, 5, 10km 간격)으로 구분하고 이를 집계단위로 활용하는 경우도 있다.

건수는 연속적인 것으로 볼 수 있고, 이때는 전통적인 공간분석방법이 유용할 수 있다. 이에 대해 Bhati(2005)는 분석의 공간단위가 작아져(wards, zip-code, post-code 등) 각 단위에서 관측되는 현상(교통사고)이 감소하고 0의 값을 갖는 분석단위가 증가하여 오른쪽으로 심하게 치우치는 분포를 갖는 데이터에 전통적인 공간분석방법을 적용할 경우 잘못된 결과를 제시할 수도 있다고 주장하였다.

우리나라 교통계획에서 사용하는 분석단위인 TAZ와 ward를 비교해 볼 때 TAZ의 평균인구는 2010년 기준으로 23,121인인 반면, 영국 ward의 평균 인구는 2011년 기준 6,900인¹⁹⁾인 것으로 나타나 ward에 비해 우리나라 TAZ는 3배 이상의 인구를 가지고 있어 집계단위 규모가 큰 편으로 볼 수 있다. 또한 사고건수가 0값을 갖는 TAZ가 거의 없고, 사고건수가 연속적으로 나타나므로 공간분석방법이 유용할 것으로 판단된다.

또한 Pengpeng 외(2014)는 동일한 지역에서 존의 개수를 50개에서 780개까지 50단위로 늘려가면서 총 14개의 Zoning에 대해 유의한 변수 및 계수값의 변화를 분석하였다. 분석존의 개수가 증가할수록(분석존의 공간적 범위가 감소할수록) 모든 계수값들이 안정적이 되었는데, 특히 분석존 개수가 350개 이상이 될 때, 개별 Zoning간의 계수값의 차이가 미미해짐을 확인하였다. 이러한 결과는 분석존의 개수가 적을 때 계수값의 변동이 더 민감하며, 결국 이는 집계단위가 클 때 공간단위 수정가능성 문제(MAUP; Modifiable Areal Unit Problem)²⁰⁾가 더 심각해짐을 나타낸다. 또한 존의 개수가 증가할수록 통계적으로 유의한 변수들이 더 많아지며, 이를 통해 변수를 통한 교통사고모형의 설명력은 향상된다고 제시하였다. 결론적으로 Pengpeng 외(2014)는 분석존의 개수를 350개(즉, 원래 분석

19) 영국의 국가 통계 홈페이지에서 검색, [검색어: average population in census ward]
<http://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/populationandmigration/populationestimates/bulletins/wardlevelmidyearpopulationestimatesexperimental/2013-05-30>

20) MAUP는 연구자가 공간적 분석단위를 작위적으로 선택할 때 이에 따라 분석결과가 달라질 수 있음을 의미한다.

존 개수였던 780개의 반 정도) 이상으로 유지할 때 MAUP 효과를 통계적으로 유의하게 줄일 수 있을 것이라고 주장하였다. 이러한 맥락 및 본 연구에서 사용한 TAZ는 이미 교통계획에서 사용하고 있는 존 체계이므로 MAUP에 의한 분석결과의 오류 가능성은 미미하다고 볼 수 있다.

<표 2-4> 교통사고분석에 사용되는 집계 및 분석단위

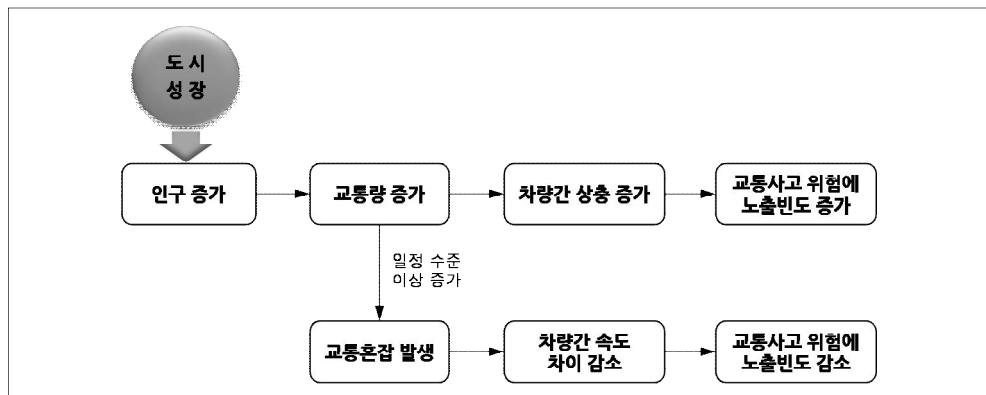
| 공간단위 | 설명 | 주요 연구자(연구년도) |
|---------------------------------|--|--|
| Region | 광역시/도 | Washington 외(1999) Noland and Quddus(2012) |
| County | 시/군 | Miaou 외(2003) Huang 외(2010) Aguero-Valverde & Jovanis(2006) |
| District | 구(區) | Haynes 외(2007) |
| TAZ (Traffic Analysis Zones) | 교통분석을 위한 기본단위로 데이터 속성이 동질적인 것으로 가정함 ¹⁾ - 교통관련 센서스 데이터의 구축을 위해 구획한 통계단위 | Hadayeghi 외(2003) Guevara 외(2004) Hadayeghi 외(2006) Hadayeghi 외(2010) Abdel-Aty 외(2011) Siddiqui 외(2012) Pulugurha 외(2013) |
| Census tracts | 인구조사를 위해 설계된 단위 (최적 인구기준 4,000명) - 9개의 Block Group로 나뉨 | Wier 외 (2009) Lascaia 외 (2000) |
| (Census) ward | 영국 센서스 통계의 공표단위 (Outcome Area)의 상위단계 로서 법적·행정적 경계임 | Wang 외(2009) Quddus(2008) Noland & Quddus(2004) |

주 1) 본 연구에서 사용한 TAZ는 교통계획에서 동질적인 속성을 가정하여 사용하는 TAZ 단위를 사용하였으므로 속성자료의 동질성에 대한 논의는 별도로 검토하지 않음
자료: Pengpeng Xu et al.(2014)

4. 선행연구 요약

미시적 사고분석모형은 도로의 일부 구간이나 교차로를 집계단위로 하는 사고분석모형을 말한다. 미시적 교통사고 분석에는 음이항(Negative Binomial) 모형이 가장 폭넓게 적용되었으며, 종속변수로는 주로 교통사고건수(El-Basyouny et al., 2013) 또는 심각도를 고려한 교통사고건수를 설정하였다. 그러나 음이항모형은 미시적 분석모형 뿐 아니라 거시적 분석모형에도 활용되었는데, 이는 음이항모형이 교통사고의 발생빈도특성을 가장 잘 반영하는 모형이기 때문이다(박민호, 2013)

선행연구 결과를 기반으로 인구밀도와 교통량, 교통사고간 관계 정립이 필요하다. 도시가 성장하면서 인구밀도가 높아지면 교통량이 많아지고, 많은 교통량은 차량간 교통상충을 증가시켜 결과적으로 교통사고에 대한 노출빈도를 증가시킨다. 그러나 일정 수준으로 교통량이 증가하면 교통혼잡이 발생하여 차량간 통행속도 차이가 감소할 경우 교통사고에 의한 사망사고는 줄어들 수 있다. 즉, 인구밀도와 교통량이 모두 적은 지역에서는 교통사고 발생빈도는 낮을 수 있으나, 사고에 의한 부상심각도는 커질 수 있다는 것이다. 결국 이러한 상호 유기적인 관계를 통해 교통사고의 위험은 인구밀도나 교통량과 같은 단일 변수에 의해서는 설명될 수 있다는 것을 알 수 있다.



〈그림 2-2〉 인구-교통량-교통사고와의 관계

교통사고에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인구 특성변수로는 연령대별 인구 비율, 남녀 성비, 교육 수준 등이 있다. 고령화와 관련하여 일부 연구에서는 75세 이상의 고령인구비율이 증가할 경우 교통사고 건수는 감소하는 것으로 나타난 반면, 일부 연구에서는 교통사고 심각도는 오히려 증가한다고 제시(Noland and Quddus, 2004; Augero-Valverde and Jovanis, 2006; Huang et al., 2010; Karim et al., 2013)하였다. 서울시 사례와 비교해 볼 때 서울시의 경우 고령인구가 교통사고 피해자일 경우 사고 심각도가 증가하는 것으로 나타났다. 교통사고에 영향을 미치는 운전자의 연령대에 대해서는 연구자별로 다양한 결과가 나타났다.

미시적 연구에서는 사고 심각도, 사고건수, 심각도별 사고건수 등과 같은 종속변수를 사용하였으나, 독립변수는 도로의 기하구조적 특성 및 운전자의 개인 특성이 많이 포함된다. 예를 들어, 공간적 범위가 고속도로 및 국도의 일부구간을 대상으로 할 경우 곡선반경, 도로경사, 오르막/내리막, 노면 상태, 기상상태, 안전거리 미확보, 졸음, 과속여부, 평지/교량 등이 사용된다. 또는 도시부의 교차로를 대상으로 할 경우 교차로 면적, 회전별 전용차로수, 교통섬개수, 신호현시 수, 주/부도로 제한속도, 횡단거리 평균, 교통량, 차로폭 평균, 황색신호 평균시간 등이 사용된다. 고속도로 및 국도를 대상으로 할 경우 가장 중요한 것은 집계단위가 되는 구간을 얼마나 동질적으로 확보하느냐는 것이다. 미시적 연구가 제시하는 영향요소는 도로 및 신호 설계요소가 많아 정책적으로 관련 지침에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

미시적 연구에서는 주로 음이항모형이 많이 사용(Abedel_Aty, 2004; Chin, 2003; 박승훈, 2014)²¹⁾되었다. 보행자 관련사고 연구의 경우 공간변수로서 인도, 횡단보도, 신호등, 교차로, 콜데삭(Cul-da-sac)의 밀도, 버스정거장수, 놀이터수, 패스트푸드점 수, 주차장수, 토지이용 변인, 총가구수, 평균 부동산 가격 등이 포함되었다.

21) Abdel_Aty(2004)와 Hoong Chor Chin(2003)의 연구는 신호교차로를, 박승훈(2014)은 보행자 관련 사고를 대상으로 한 연구이다.

<표 2-5> 선행연구 고찰

| 연구자(년도) | 분석 모형 | 사용 데이터 및 변수 |
|---|---|--|
| Siddiqui, Chowdhury, Abdel-Aty Mohamed, Choi, Keechoo (2012) | <ul style="list-style-type: none"> • 음이항(NB) 모형 | <ul style="list-style-type: none"> • 공간 데이터 : 1,479개 TAZ • 사고데이터 : 87,718건, 플로리다주 • 종속변수 : 총 사고건수, 심각한 사고건수, 보행자 사고건수 • 공간단위 세분화 : TAZ, BG, CT • 도로연장, 제한속도, 교차로 개수, 인구수, 어린이수 등 |
| Anastasopoulos & Mannering (2009) | <ul style="list-style-type: none"> • 음이항 카운트모형 <ul style="list-style-type: none"> - Random parameter - Fixed parameter (비교대안) | <ul style="list-style-type: none"> • 사고데이터 : 1995~1999년, 인디애나주 • 종속변수 : 5년간 차량교통사고건수 • 포장상태지수 등 도로포장변수(5개), 길어깨폭, 교량 및 램프 수, 연장 등 도로기하변수(10개), (여객)AADT, 중차량(트럭) 비율의 교통변수 |
| Jonathan Aguro-Valverde (2013) | <ul style="list-style-type: none"> • Full-bayes 위계적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 일변량 모형 - 다변량 모형 | <ul style="list-style-type: none"> • 사고데이터: '02~'06년, 코스타리카 • 종속변수(Y_{ikt}) : i canton의 t 시점에 k 심각도로 발생한 교통사고 건수 • 차량-km, 도로연장, 2001년 기준 빈곤층 비율, 인구밀도, 0~14, 15~24, 65세 이상 인구비율, 남성비율 |
| 박신형 (2010) | <ul style="list-style-type: none"> • GWR • 커널밀도추정기법 • 심각도를 가중치로 고려한 커널함수 | <ul style="list-style-type: none"> • 공간적 범위 : 경부선 • 교통사고 데이터 : 2003-2008년 • 종속변수(Y_i) <ul style="list-style-type: none"> - 해당구간에서 3년간 발생한 사고건수 - 각 사고의 피해수준(사망/부상/물피)에 따라 가중한 사고건수 - 사망자, 부상자수로 가중한 사고건수 - 구간내 교통사고의 총 비용 • 설명변수 <ul style="list-style-type: none"> - 차로수, 교량수, 터널수, 과속단속 카메라수, 진출부 개수, 진입부 개수, 톨게이트 및 휴게소 개수, 사고노출도(EXPO), 곡선반경 |

<표 2-5 계속> 선행연구 고찰

| 연구자 (년도) | 적용 모형 | 사용 데이터 및 변수 |
|--|--|---|
| Ulfrasson & Shankar (2003) | <ul style="list-style-type: none"> • 음다항 카운트모형 • 음이항(NB) 모형 • Random-effects 음이항(RENB) 모형 | <ul style="list-style-type: none"> • 공간/교통사고 데이터 : 1990-1994년, 워싱턴주 • 종속변수 : 사고빈도(사고건수/년도) • 구간길이, ADT, 길어깨폭, 사고제어정도, 도로균열지수, 중차량비율, 경사구간 수, 차로수, 제한속도, 평면선형구간 수, 중앙분리대 폭 |
| Jonathan Agüero-Valverde, Paul P. Jovanis (2006) | <ul style="list-style-type: none"> • 포아송 및 음이항 분포 • Full-Bayes 위계적 접근(Y_i) • 조건부자기회귀 모형(CAR) • Space-time 모형(Y_{it}) | <ul style="list-style-type: none"> • 공간 데이터 : 1996-2000년 • 교통사고데이터 : 1997-2001년, 펜실베이니아 • 종속변수 : 사망, 부상사고 빈도, 사망 및 부상 사고 빈도, 백만 일VMT별 사망사고율, 부상사고율, 사망 및 부상사고율 • 14세 이하, 15-24세, 65세 이상 인구비율, 남성비율, 빈곤층 비율, 음주운전(DUI) 단속빈도, 천명당 음주운전 비율, DVMT, 도로연장, 도로율, 연방지원 DVMT 및 도로연장비율, 총강수량, 평균 비/눈 온 날 수, 총 강설량 |
| Noland, R.B. Quddus, M.A. (2004) | <ul style="list-style-type: none"> • 음이항(NB) 모형 | <ul style="list-style-type: none"> • 공간 데이터 : 영국 선거구(ward), 8,414개 • 교통사고 데이터 : 1999년, 영국본토 • 종속변수 : 사망사고건수, 심각한 부상사고 건수, 경미한 부상사고건수 • 고용밀도, 인구밀도, 도시화 6단계, 도로등급별 도로율, 면적당 회전교차로 수/분기점 수, 복합최퇴지수, 15세 이하/16~59세/60세 이상 주거인구비율, 경제활동인구 비율, 총고용자수, 총 주거인구, Proximate employment |
| M. Karim, Mohamed Wahba, Tarek Sayed (2013) | <ul style="list-style-type: none"> • Zone level의 음이항(NB) 모형 | <ul style="list-style-type: none"> • 공간 데이터 : 캐나다 밴쿠버, 485개 존 • 종속변수 : 3년간 총 교통사고 건수, 3년간 심각한 교통사고 건수, 3년간 물적 피해사고 건수 * 대중교통 및 비대중교통사고를 분리함 • 총 차로연장당 간선도로/국지도로 연장비율, 버스정류장 수, 차로연장당 집산도로 차로연장 비율, 3지/4지 교차로 비율, 단위 지역당 교차로수, 대중교통 승객수, 신호교차로수 |

<표 2-5 계속> 선행연구 고찰

| 연구자 (년도) | 분석 모형 | 사용 데이터 및 변수 |
|--------------------|---|---|
| 홍지연 (2013) | <ul style="list-style-type: none"> • 다중선형회귀분석 • 공간자기회귀분석 • 공간오차분석 • GWR | <ul style="list-style-type: none"> • 공간적 범위 : 서울시 • 교통사고데이터 : 2010년 • 종속변수(Y_i): 교통사고 발생빈도 • 설명변수 <ul style="list-style-type: none"> - 도로연장, 버스전용차로설치비율, 건축물 총 연상면적, 교차로 및 횡단보도 수, 횡단보도 예고표지 설치율, 과속방지턱 수, 단속 실적 |
| 박승훈 (2014) | <ul style="list-style-type: none"> • 음이항분석 | <ul style="list-style-type: none"> • 공간적 범위 : 시애틀 124개의 센서스 트랙 • 교통사고데이터 : 2000~2004년, 도시부에서 발생한 차대사람 사고(state-route level 제외) • 종속변수(Y_i): 보행자-차량 충돌사고 건수 • 설명변수 <ul style="list-style-type: none"> - 인구밀도, 회전교차로/신호등/간선도로 밀도, 단독주택지 비율, 상업지 비율, 혼합토지이용 비율, 오프스페이스/버스정거장/주차장 개수 |
| 한수산 외 (2011) | <ul style="list-style-type: none"> • 포아송모형 • 음이항모형 | <ul style="list-style-type: none"> • 공간적 범위 : 국내 원형교차로 20개소 • 교통사고데이터 : • 종속변수(Y_i): 차대차, 차대사람 사고건수/EPDO • 설명변수 <ul style="list-style-type: none"> - 일평균교통량, 중앙교통섬 직경, 회전차로수, 회전차로 폭, 진출입구 수, 분리교통섬수, 우회전 별도차로 수, 조명시설 수, 과속방지턱 수, 횡단보도 수 |
| 정보미 외 (2015) | <ul style="list-style-type: none"> • 조건부 자기회귀모형 • 공간일반화 포아송 모형 | <ul style="list-style-type: none"> • 공간적 범위 : 서울시 • 교통사고 데이터 : 2010년 • 종속변수(Y_i) <ul style="list-style-type: none"> - 교통사고 발생건수 • 설명변수 <ul style="list-style-type: none"> - 도로총연장, 버스전용차로 설치비율, 도로 총 연면적, 교차로/횡단보도/과속방지턱 설치지점수, 횡단보도 예고표지 설치율 |

제2절 시사점 도출

1. 선행연구 시사점 검토

선행연구를 통해 얻은 시사점은 공간분석연구의 다양성과 종속변수의 다변화 및 공간 분석단위에 따른 설명변수의 다양성 측면에서 살펴보았다.

국내 연구 중 교차로 또는 도로 축을 통한 연구는 주로 음이향 고정/확률모형을, 지역을 기반으로 한 연구는 공간분석모형을 활용하고 있으나, 외국의 경우 다양한 모형을 다양한 지역단위에 적용하여 보다 효율적이고 통계적으로 유의한 분석모형을 찾는 노력을 하고 있다. 또한 국내의 경우 공간데이터 기반의 교통사고 특성 분석 연구가 최근 들어서야 활발하게 이루어지고 있어 우리나라에서 발생하는 교통사고에 영향을 미치는 변수들을 알 수 없는 실정이다. 교통안전과 관련된 계량분석연구는 특정 공간 변수가 교통사고에 미치는 영향을 계량화하여 제시하므로 교통안전정책 수립에 근거자료로 활용될 수 있기 다양한 영향변수들을 찾아내려는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

종속변수의 다양성 측면에서 국내 연구에서는 종속변수로 교통사고건수만을 사용하는 경우가 많으나, 국외 연구의 경우 종속변수와 설명변수를 시·공간적으로 다변화하거나 대리변수²²⁾를 사용함으로써 설명력이 높은 교통사고 분석모형을 개발하고 있어 우리나라에서도 교통사고에 대한 분석 변수를 다양화할 필요가 있다.

공간분석단위와 설명변수의 관계에서 국외 사례²³⁾의 경우 공간적 분석 단위를 센서스 단위보다 더 작은 선거구 단위로까지 데이터 구축이 가능

22) Noland(2004)는 교통류의 대리변수(proxy variable)로서 총고용자수와 총주거인구, Proximate employment를 사용하였다.

23) Noland(2004)는 영국의 선거구(ward)를 분석단위로 사용하였고, Aguro-Valverde(2013)도 선거구 정도의 크기인 canton 단위로 집계된 데이터를 사용하였으며, Siddiqui(2012)는 TAZ과 Block Group 및 Census 단위로 집계된 데이터를 사용하여 집계단위별로 변수의 공간영향력이 달라짐을 제시하였다.

하고 분석도 가능하나 국내의 경우 행정동(TAZ) 단위의 데이터를 근거로 분석됨에 따라 집계모형의 한계를 극복하지 못하고 있어 공간적 분석 단위를 세분화하고 연구의 다변화를 위해 연구 목적일 경우 교통사고 데이터를 개방할 필요가 있다.

집계단위 및 분석모형에 따라 거시적 사고분석에서는 다양한 집계단위가 적용되고 있었다. 특히 해외에서는 분석단위에 따른 모형 분석결과의 차이를 비교하는 연구도 시행되고 있다(Abdel Aty et al., 2014)는 점에서 국내에서도 이에 대응할 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

<표 2-6> 집계단위 및 분석모형에 따른 변수 변화

| 모형 | 분석 단위 | 분석 변수 |
|----------------------|---|---|
| 거시적 사고분석 - 공간회귀분석 | <ul style="list-style-type: none"> • 지형적 존 레벨 • TAZ, 선거구(conton 또는 ward), 센서스단위(Census Block Group) 등 | <ul style="list-style-type: none"> • 인구통계 변수 • 사회경제 변수 • 도로/교통변수 |
| 미시적 사고분석 - 음이항분석 | <ul style="list-style-type: none"> • 네트워크 레벨 • 구간(segment), 교차로, 축 등 | <ul style="list-style-type: none"> • 기하구조 변수 • 교통변수 |

선행연구 검토 결과 주요 시사점으로는 첫째, 교통사고 발생에 영향을 미치는 도시공간 특성 파악을 위해 교통사고 분석 모형의 다양화 필요하다. 둘째, 교통안전 정책 수립시 활용가능한 다양한 공간특성 변수의 발굴이 필요하다, 셋째, 교통사고에 안전한 도시환경을 교통계획 단계에서 고려할 수 있도록 데이터 집계단위에 대한 고려가 필요하다.

2. 본 연구의 차별성

서울시의 공간데이터를 활용하여 교통사고를 분석한 최근의 연구 결과²⁴⁾와 비교하여 본 연구가 가지는 차별성은 다음과 같다.

홍지연(2013)과 정보미 외(2015)의 연구는 공간적 범위(서울시), 사고 데이터(2010년), 분석모형 및 독립변수가 매우 유사하다. 두 연구에서 공통적으로 적용한 공간오차모형분석 결과를 비교한 결과, 통계적으로 유의하게 나온 변수도 유사한 것으로 나타났다. 홍지연(2013)은 도시부의 교통사고 예측을 위해 OLS, 공간오차모형, 공간시차모형, GWR을 통해 모형을 구축하였고 정보미(2015)의 경우 OLS와 공간오차모형, 일반화 포아송모형과 공간일반화 포아송모형을 분석하고 포아송모형을 이용하여 행정동별 발생 위험도를 산정하였다. 최근에 수행된 많은 선행연구(박승훈, 2014; 박민호; 2013²⁵); 이승주 외, 2014; 박병호 외, 2009; 한수산 외, 2011; Dumbaugh 외, 2010; Marshall 외, 2011 등)에서 음이항모형을 교통사고를 분석하는 적합한 모형으로서 제시하고 있으나 정보미의 경우 공간일반화 포아송모형을 가장 적합한 모형으로 제안하였다.

또한 두 연구 모두 공간분석을 통해 통계적으로 유의한 변수를 제공하고 있으며, 매우 유사한 결과를 제시하고 있다. 그러나, 분석모형에 VKT가 포함되어 있지 않았고, 본 연구와 비교할 수 있는 변수가 많지 않은 점이 아쉬운 점이다. 이외에 서울시를 대상으로 한 교통사고 분석연구로 Rhee 외(2016)²⁶의 연구가 있다. 이 연구에서는 노출변수로 VKT를 사용하였으나 총 교통사고 및 심각도(경상 및 부상, 사망 및 심각한 부상 사고)에 대한 공간모형(SEM, SLM, GWR)을 분석하였다는 점에서 본 연구와 차이가 있다.

24) 박준태(2011)의 연구 역시 서울시를 대상으로 한 공간분석을 시행하였으나, 분석 및 집계단위가 자치구이므로 본 연구와 비교하지 않았다. 또한 이수진 외(2015)의 연구 역시 서울시 교통사고에 대한 분석을 연구주제로 하고 있으나, Moran's I와 Getis-Ord G_i^* 를 통한 군집분석 결과 및 해석만을 제시하고 있어 본 연구와 비교하지 않았다.

25) 박승훈(2014)는 미국 시애틀시를 대상으로 한 보행자-차량사고를, 박민호(2013)는 워싱턴주 고속도로를 대상으로 한 분석에서 음이항 모형이 포아송 모형에 비해 우수하다고 제시하였다.

26) Rhee KA, Kim JK, Lee YI, Ulfarsson GF., Spatial regression analysis of traffic crashes in Seoul, Accident Analysis Prevention, Vol.91, 2016, pp.190-199

상기의 선행연구에 대해 본 연구가 가지는 차별성은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 교통사고 분석 모형에서 반드시 포함해야 할 사고 노출변수(VKT)의 영향을 분석하여 생략된 변수에 의한 편기(Omitted Variable Bias) 문제를 최소화하였다. Quddus(2008)는 가장 좋은 노출 변수로 VKT를 제안하였으며, 만약 적절한 노출변수가 모형에 포함되지 않을 경우 교통사고에 대한 변수의 영향이 기존 가설(속도의 증가는 교통 사고 심각도를 증가시킨다)과 다르게 나타날 수 있음을 제시하고 있다. 따라서 사고분석모형에 해당 집계단위에서 산출된 적절한 노출변수를 포함시키는 것이 매우 중요하다.

둘째, 본 연구에서는 종속변수를 다양하게 적용하였다. 본 연구에서는 차대차, 차대사람, 차량 단독과 같은 사고형태에 따른 다양한 영향요인을 분석하였다.

셋째, 본 연구에서는 선행연구 고찰을 통해 교통사고에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수를 검토하고 이를 토대로 최대한 구득 가능한 데이터를 구축하였으며, 정책적으로 통제 가능한 변수들을 포함하였다. 또한 서울시의 특수한 공간영향요인을 고려하고 모형에 반영하였다.

넷째, 본 연구에서는 분석결과의 활용도를 제고하기 위해 설명변수 계수의 안정성 및 시나리오 분석을 수행하고 분석결과를 토대로 교통사고에 안전한 도시환경을 조성하는데 필요한 정책적 함의를 제시하였다.

제3장 연구 방법론 정립

제1절 연구의 전체 및 수행 절차

1. 연구의 전제 및 가설

AASHTO(2010)에서는 교통사고의 발생원인을 도로 및 환경요인²⁷⁾, 차량 요인, 인적요인²⁸⁾으로 구분하고 있다. 이중 운전성향이나 심리상태, 피곤도 등의 인적 요인이 가장 많은 부분을 차지하고, 그 다음이 도로 및 환경요인과의 복합 요인²⁹⁾이다. <표 3-1>과 같이 교통사고는 대부분 인적 요인에 의해 발생하기 때문에 교통사고는 교통안전문화 또는 안전의식을 평가하는 지표로 간주되기도 한다. 그러나 본 연구에서는 교통사고 발생을 설명하는데 있어 정책적으로 통제 가능하거나 현상적으로 설명이 가능한 인구 및 사회경제 지표, 도로환경요인에 대해서만 분석을 수행하며, 인적 요인의 영향은 통제되었다고 전제하였다. 또한 교통사고 발생에 영향을 미치는 공간적 영향 요인들이 사고 유형에 따라 다를 것이라는 가설 하에 연구를 수행하였다.

<표 3-1> 교통사고 요인 및 비율

| 요인 | 도로 및 환경 | | | | 인적 | | 차량 |
|----|----------|------|------|---------|----------|--------------|----------|
| 유형 | 순수 요인 | 복합요인 | | | 순수 요인 | 복합요인 + 차량 | 순수 요인 |
| | | + 인적 | + 차량 | + 인적·차량 | | | |
| 비율 | 3% | 27% | 1% | 3% | 57% | 6% | 3% |
| | 34% | | | | 63% | | 3% |

자료 : AASHTO, 2010

27) 도로기하구조(도로폭, 선형) 및 정보부하정도(표지판, 노면 표 시), 도로 주변 환경(조도, 날씨, 노면상태) 등을 의미한다.

28) 운전자 개인 성향(집중도, 판단시간), 운전 성숙도, 운전성향(난폭운전, 반응시간), 음주 및 약물 복용 여부 등을 의미한다.

29) 교통사고는 다양한 요인이 인과사슬(Casual Chain)을 형성함으로써 발생하는데, 만약 복합적·인과적 과정 중에서 하나의 연결고리(Chain)라도 끊어지면 발생하지 않는다.

2. 공간분석 수행 절차

종속변수가 공간데이터인 경우 Moran's I 분석을 통해 통계적으로 유의하게 공간적 종속성 또는 이질성이 존재하는지 확인하는 작업이 필요하다. -1과 +1 사이 값을 갖는 Moran's I는 1에 가까울수록 공간적 상관성이 높다고 판단한다. 그런데 공간적 종속성은 종속변수에 존재할 수도 있고, OLS의 잔차들이 서로 독립적이라는 가정을 위배하고 종속되어 있을 수도 있다. 따라서 OLS 분석 및 진단을 통해 공간적 종속성의 위치를 판단하는 것이 중요하다.

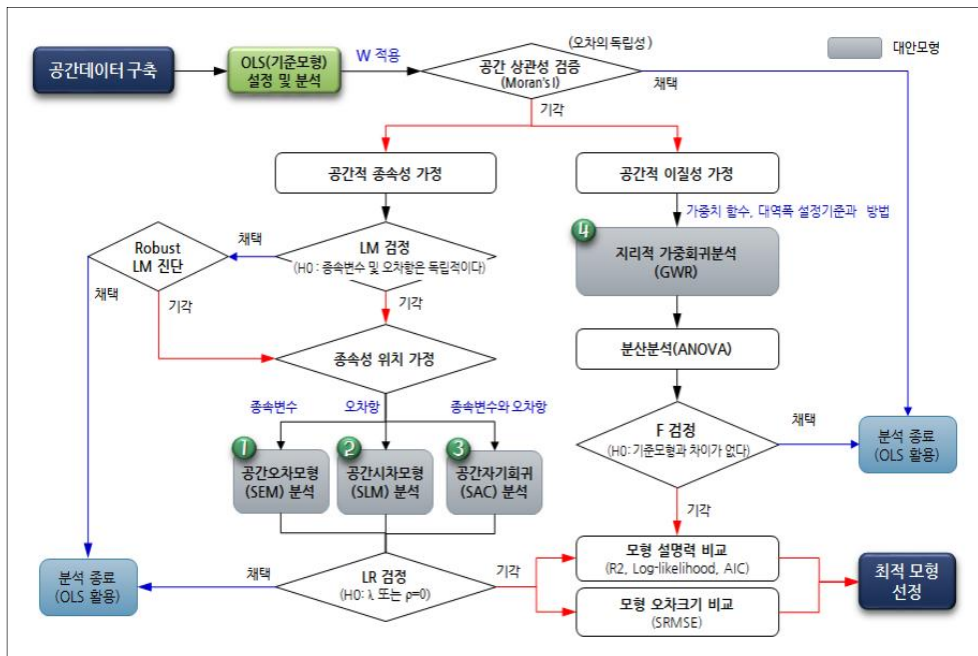
이를 위해 우선 공간적으로 구축된 공간데이터를 토대로 유형별 교통사고에 영향을 줄 수 있는 변수들을 포함한 OLS를 분석하고 최적 모형을 결정한다. 이 모형이 기준모형이 된다. 기준모형 분석 후 LM (Lagrange Multiplier) 검정을 통해 공간적 종속성이 존재하는지 다시 한 번 확인하는데, 이때 LM 검정을 통해 종속성의 위치를 판단할 수 있다. LM 검정의 귀무가설(H_0 : 종속변수나 오차항이 독립적이다)을 기각할 경우 공간적으로 종속적인 것으로 판단할 수 있으며, 만약 이때 귀무가설을 기각하지 못할 경우 공간분석모형을 분석할 당위성은 사라진다. 또한 LM 검정을 통해 오차항과 시차항 중 어느 쪽이 종속적인지 판단가능하다. 만약 LM 검정을 통해 통계적으로 유의하지 않게 나올 경우 Robust LM 검정을 다시 한 번 수행한다. 이때 오차항이 종속적이라면 기준모형과 비교할 대안 모형으로 공간오차모형(SEM)을, 시차항이 종속적으로 나올 경우 대안모형으로 공간시차모형(SLM)을 선택한다. 만약 오차항과 시차항 모두 종속적인 경우 일반공간모형도 대안으로 선택하고 분석을 수행한다.

분석을 수행한 이후에는 잔차 분석을 통해 기준모형과 비교하여 Moran's I값의 변화를 확인하고 검정을 수행한다. 또한 대안모형에 포함된 공간오차항과 공간시차항의 자기공간회귀계수(λ , ρ)의 통계적 유의성을 t값 및 LR(Log-likelihood Ratio) 검정을 통해 확인한다. 이때 LR검정의 귀무가설(H_0 : 자기공간회귀계수가 0이다)을 기각하지 못할 경우 공간모형은

통계적 유의성을 상실하며, 이 경우 OLS 또는 국지적 모형이 최적 모형이 될 수 있다.

교통사고 발생의 공간적 이질성을 가정할 경우 대안모형은 지리적 가중 회귀분석모형(GWR)이 된다. 이 모형의 경우 OLS의 잔차분석을 통해 국지적 군집이 나타날 경우 수행한다. GWR분석 후에는 반드시 분산분석을 통해 GWR 분석을 통한 분산의 변화를 통해 대안모형이 기준모형을 개선하였는지 검정하는 과정이 필요하다. 이는 F 검정(H_0 : 기준모형과 차이가 없다)을 통해 시행된다. F 검정 결과 귀무가설이 기각된 경우 GWR이 모형 개선효과가 있으므로 GWR이 국지적모형의 최적 모형이 된다.

기준모형을 기준으로 모형 설명력과 모형 오차의 크기 비교를 통해 교통사고 발생 특성을 가장 잘 나타낸 전역적 모형과 국지적 모형을 각각 선정한다. 전역적 모형과 국지적 모형을 비교하는 엄밀한 기준이 존재하는 것이 아니므로 모형 설명력은 R^2 , log-likelihood, AIC값으로, 모형의 오차는 표준화된 평균제곱근 오차로 비교하였다.



〈그림 3-1〉 공간계량모형 분석과정

제2절 공간분석모형 설정

1. 공간가중행렬 설정

공간분석모형의 필요성을 확인해 줄 공간적 상관성을 판단하기 위해서는 공간상에서의 상호작용을 수리적으로 표현한 공간가중행렬이 필요하다. 공간가중행렬의 설정에 대해 이희연(2013)은 통계적 검정을 통해 적합한 공간가중행렬을 선택하는 방법은 없기 때문에 모형 분석을 반복적으로 수행하는 실험적 절차를 통해 공간가중행렬을 선택하도록 제안하고 있다. 다만 Anselin(2003)은 실제 공간단위에서 수집된 데이터를 분석할 때 ROOK 방식³⁰⁾의 인접성 가중치가 보편적으로 사용³¹⁾된다고 하였으며, 이성우(2006)는 공간시차변수($W_1 Y$)를 생성하는데 필요한 공간가중행렬(W_1)로서 주로 행표준화(row-standardization)된 ROOK 방식의 인접성 행렬이 사용된다고 언급하고 있다. 이에 본 연구에서는 GIS 분석 툴을 이용하여 인접성 및 거리에 따른 다양한 공간가중행렬을 생성하고, 이에 따른 종속변수의 공간상관성을 분석하여 서울시 교통사고의 공간적 상관성을 가장 잘 나타낸 가중치를 본 연구의 공간가중행렬로 설정한다.

2. 공간적 상관성 판단

공간가중행렬을 토대로 Moran's I 값을 분석하고 이를 통해 공간적 상관성 여부를 판단한다. Moran's I 값은 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 공간적 상관성이 크다. 이때 Moran's I는 전역적인 값이며, LISA(Local Indicators of Spatial Association; Anselin, 1995)를 통해 국지적으로 나타나는 공간상관성을 GIS상에 표출하여 확인할 수 있다.

30) ROOK방식은 해당 TAZ의 변과 인접한 TAZ에 가중치를 부여하는 방식이며, 이에 비해 QUEEN방식은 해당 TAZ의 변과 모서리가 인접한 TAZ에 가중치를 부여하는 방식이다.

31) 정건섭(2012)에 따르면 공간계량모형을 이용한 분석에서 거의 인접성에 의한 가중치행렬을 사용하고 있으며, 실제로 거리에 따른 공간가중치방식인 경우에도 일정거리 이하는 1, 이상은 0으로 표현함으로써 인접성에 의한 가중치행렬과 큰 차이는 없다고 말하고 있다.

3. 종속변수 설정

본 연구에서는 종속변수를 전체 사고건수 및 사고유형으로 구분하여 분석을 수행하였다. 교통사고의 유형은 경찰청의 교통사고 작성양식에 따라 차대차, 차대사람, 차량단독, 철길건널목사고 등으로 기록된다. 여기서 사고 유형별 정의를 살펴보면, 차대차 사고는 당해사고의 제1당사자와 제2당사자 모두 차량인 사고, 차대사람사고는 보행자가 제1당사자 또는 제2당사자인 사고를 말한다. 차량단독사고는 상대방이 없이 제1당사자만 있는 경우와 제2당사자가 주차차량, 물건 및 기타 도로시설물 등인 경우를 말한다. 도로교통법 제2조 17항에 따르면 이때의 ‘차(車)’는 1) 자동차, 2) 건설기계, 3) 원동기장치자전거, 4) 자전거를 포함하고 있다.

그러나 원동기장치나 자전거의 경우 사고발생 특성이 보행자와 다를 것으로 예상된다. Siddiqui 외(2012)에 따르면, 자전거 관련 사고에 영향을 미치는 요인으로 기상상태, 가로등이 없는 어두운 도로, 55세 이상의 자전거 운전자, 높은 차량 속도(50mph(=80km/h) 이상)를 제시하고 있는 반면, 보행자 관련 사고의 경우 교통량, 고용자 및 인구수, 연령별 인구 계층, 주거지 토지이용, 빈곤도(Poverty level) 등을 제시하고 있다.

따라서 본 연구에서는 순수하게 자동차만을 포함한 교통사고건수로 제한하여 사고유형별 교통사고에 대한 공간분석을 수행하였다.

결론적으로 2010년 서울시는 총 39,743건의 교통사고가 발생하였으며, 여기에는 자동차외에 건설기계, 원동기장치, 자전거와 관련된 사고가 포함되어 있다. 순수하게 자동차와 관련된 사고는 자료를 분류한 결과 34,337건(전체 사고건수의 86.4%)으로 나타났고, 본 연구에서는 이 사고 건수를 대상으로 사고유형별 분석을 수행하였다. 따라서 이후부터는 별도의 언급이 없더라도 총 사고건수는 자동차 관련 사고만을 의미하며, 차대사람 사고를 보행자-차량사고로 명명한다.

<표 3-2> 종속변수의 범위 결정

| 구분 | | 사고유형 | | |
|--------------|--------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------|
| | | 차대차 | 차대사람 | 차량단독 |
| 2010년 총 사고건수 | | 39,743건 | 28,067 (70.6%) | 10,447 (26.3%) 1,229 (3.1%) |
| 차량유형 | ① 자동차 관련 사고 | 34,337건 (86.4%) | 23,780 (69.3%) | 9,487 (27.6%) 1,070 (3.1%) |
| | ② 이륜기 관련 사고 | 2,637건 (6.6%) | 1,762 (66.8%) | 743 (28.2%) 132 (5.0%) |
| | ③ 자전거 관련 사고 | 2,769건 (7.0%) | 2,525 (91.2%) | 217 (7.8%) 27 (1.0%) |
| | ④ 중대화물 관련 사고 | 0건 | - | - |

주: TAAS 사고자료, 2010년

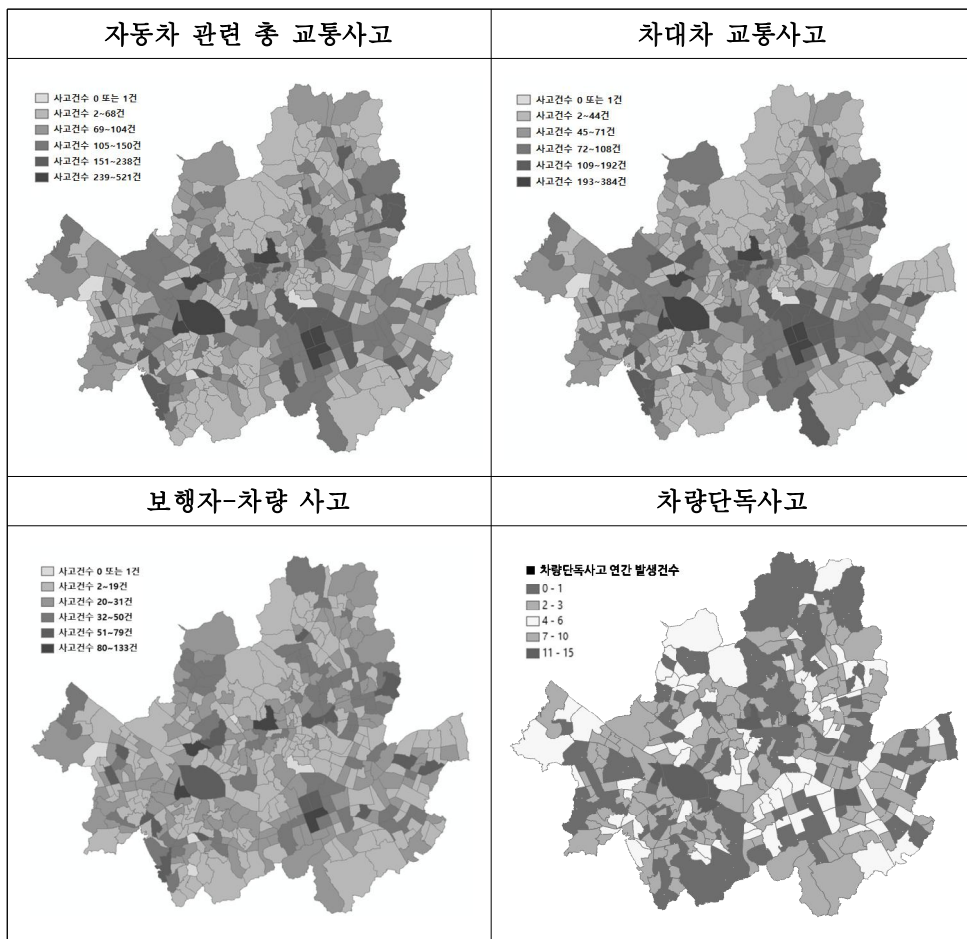
사고유형별로 TAZ의 분포를 살펴본 결과, 자동차 관련사고의 경우 연간 2~68건의 사고가 가장 많은 TAZ에서 발생하고, 차대차 사고는 연간 2~44건의 사고가 가장 많은 TAZ에서 발생하며, 차량단독사고는 연간 2~3건의 사고가 가장 많은 TAZ에서 발생하는 것으로 나타났다.

<표 3-3> 사고유형별 TAZ 분포현황

| 자동차 관련 사고건수 | TAZ수 (비율) | 차대차 사고건수 | TAZ수 (비율) | 보차 사고건수 | TAZ수 (비율) | 차량단독 사고건수 | TAZ수 (비율) |
|----------------|----------------|-------------|----------------|------------|----------------|--------------|----------------|
| 0~1건 | 3 (0.7%) | 0~1건 | 3 (0.7%) | 0~1건 | 5 (1.2%) | 0~1건 | 170 (40.2%) |
| 2~68건 | 212 (50.1%) | 2~44건 | 203 (48.0%) | 2~19건 | 209 (49.4%) | 2~3건 | 148 (35.0%) |
| 69~104건 | 101 (23.9%) | 45~71건 | 105 (24.8%) | 20~31건 | 124 (29.3%) | 4~6건 | 78 (18.4%) |
| 105~150건 | 67 (15.8%) | 72~108건 | 68 (16.1%) | 32~50건 | 65 (15.4%) | 7~10건 | 20 (4.7%) |
| 151~238건 | 33 (7.8%) | 109~192건 | 37 (8.7%) | 51~79건 | 16 (3.8%) | 11~15건 | 7 (1.7%) |
| 239~521건 | 7 (1.7%) | 193~384건 | 7 (1.7%) | 80~133건 | 4 (0.9%) | | |

<표 3-4>에서 보는 바와 같이 전체 사고건수로만 분석할 경우 사고형태별로 구분하였을 때 나타난 공간적 특성이 사라지는 것을 알 수 있다. 특히 보행자-차량사고 및 차량 단독사고의 경우 사고빈도가 높은 지역의 공간적 패턴이 전혀 다른 양상으로 나타났다. 차대차 사고가 도심 및 부도심을 중심으로 두드러진 증가세를 보였다면, 보차사고 및 차량단독사고가 많이 발생한 지역에서는 이러한 특징을 찾아볼 수 없다. 따라서 전체 사고건수만으로 분석하는 것도 의미가 있지만, 종속변수를 사고유형이나 심각도로 세분하여 분석할 경우 발생 특성을 더 잘 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 3-4> 종속변수별 교통사고 발생현황_2010년



4. 독립변수 설정

국내외 교통사고 분석모형의 선행연구 고찰을 토대로 교통사고 유형별 발생에 영향을 미치는 독립변수를 다음과 같이 설정하고 각 카테고리별로 독립변수를 검토하였다.

$$\ln \text{유형별 교통사고건수(차대차, 보행자-차량, 차량단독, 전체사고)} \\ = f(\text{인구환경 } D_i + \text{도시환경 } U_i + \text{도로환경 } R_i + \text{교통환경 } T_i)$$

1) 인구환경변수

<표 3-5>는 인구환경변수의 교통사고 영향을 살펴본 것인데, 음영으로 표시된 부분은 연구에 따라 혹은 종속변수에 따라 영향의 방향성이 변하는 변수들이다. Aguro-Valverde(2013)의 연구에 따르면 기초생활수급가구 비율이 증가할 경우 사망사고는 증가하나 부상사고는 감소하는 것으로 나타났다. 여러 연구에서 인구 연령계층별 영향요인을 설명변수로 활용하였는데, 특히 65세 이상 인구비율의 결과가 상이하게 나타났다. Quddus(2008, 분석지역 : 런던)와 Wang 외(2013, 분석지역 : 미국 오렌지카운티 등)의 연구에서는 65세 이상 인구 증가시 교통사고가 감소하는 것으로 나타났으나, Aguro-Valverde 외(2013, 분석지역 : 코스타리카)의 연구에서는 교통사고를 증가시키는 변수로 나타났다. 반면 오히려 15세 미만 인구 비율이 높을수록 사망사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이들 연구에서는 65세 이상 인구 증가가 교통사고를 감소시키는 이유에 대해 젊은 연령층에 비해 고령인구의 이동성 감소 및 (운전자/동승자/보행자/자전거이용자 등 모든 도로사용자의 위치에서) 위험한 행동을 할 가능성의 감소 때문이라고 판단하였다. 이에 본 연구에서도 서울시 유형별 교통사고에 대한 연령계층별 인구비율 변수의 영향을 살펴보고자 한다.

<표 3-5> 인구영향변수의 교통사고 영향 검토

| 인구영향변수 | 인구영향변수 증가시 교통사고 영향 |
|----------------------------------|---|
| 총 가구수 | • 전체사고 및 차량 관련 사고 증가 ¹⁾ |
| 기초생활수급가구비율(%) | • 사망사고 증가, 부상사고 감소 ²⁾ |
| 총 인구(인) 인구밀도(인/㎡) | • 보행자 사고 증가 ³⁾ • 부상사고 증가 ²⁾ , 부상사고 심각도 증가 ¹¹⁾ |
| 성별 인구 비율(%) | • 남성인구 증가시 사망 및 부상사고 증가 ²⁾ • 남자인구 증가시 교통사고 증가 ⁴⁾ |
| 15세 미만 인구비율(%) 15~64세 인구비율(%) | • 15세 미만 인구 증가시 교통사고/심각한 부상사고 감소 ⁶⁾ • 15~24세 인구 증가시 교통사고 증가 ⁷⁾ • 15세 미만 인구 증가시 교통사고 감소 ⁴⁾ • 15세 미만 인구 증가시 사망사고 감소 ²⁾ |
| 65세 이상인구비율(%) | • 심각한 부상/경상사고 감소 ⁵⁾ • 교통사고 증가 ²⁾ • 사망/심각한 부상사고 증가 ⁸⁾ • 교통사고 감소 ⁹⁾ • 교통사고 감소 ⁴⁾ |
| 총 종사자수(인) 인구밀도 대비 종사자밀도 비 | • 교통사고 증가 ¹⁰⁾ |
| 종사자밀도(인/㎡) | • 심각한 부상사고 증가 ⁵⁾ |

주 1) Wang 외, 2009, 2) Aguro-Valverde, 2013, 3) 박승훈, 2014, 4) Lascala 외, 2000, 5) Quddus, 2008, 6) Siddiqui 외, 2012, 7) Huang 외, 2010, 8) Scheiner 외, 2011, 9) Wang 외, 2013, 10) Karim 외, 2014, 11) Noland and Quddus, 2004

2) 도시환경변수

<표 3-6>과 같이 도시환경변수의 교통사고 영향을 살펴본 결과, 월평균 가구소득수준 및 평균 부동산 가격이 교통사고를 감소시키는 변수로 나타났다. 소득수준과 교통사고와의 관계에 대해 여러 연구에서는 가구소득이 높은 경우 상대적으로 안전한 주거지를 선택하거나 혹은 위험한 행동을 할

가능성이 적어지기 때문에 교통사고를 감소시키는 변수로 판단하고 있다.

또한 실업률이나 학교수의 경우 오히려 교통사고를 증가시키는 것으로 나타났다.

<표 3-6> 도시환경변수의 교통사고 영향 검토

| 도시환경변수 | 도시환경변수 증가시 교통사고 영향 |
|----------------------------|---|
| 월평균 가구소득 (분위소득 또는 화폐단위) | <ul style="list-style-type: none"> • 심각한 부상사고 감소¹⁾ • 교통사고 감소²⁾ • 차대차에 의한 경상사고 감소³⁾ • 보행자의 심각한 부상사고 감소⁶⁾ |
| 학교 수 | <ul style="list-style-type: none"> • 교통사고 증가⁴⁾ |
| 평균 부동산 가격 | <ul style="list-style-type: none"> • 보행자-차량 사고 감소⁵⁾ |
| 실업률(%) | <ul style="list-style-type: none"> • 부상사고 증가¹⁾ • 교통사고 증가²⁾ |

주 1) Helai Huang 외, 2010, 2) Lascala 외, 2000, 3) Pirdavani 외, 2013, 4) Wang 외, 2013, 5) 박승훈, 2014(분석지역 : 미국 시애틀시), 6) Noland and Quddus, 2004

3) 도로환경변수

<표 3-7>에서는 교통사고에 영향을 미치는 도로환경변수에 대해 살펴보았는데, 간선도로 연장은 교통사고를 증가시키는 반면, 보조간선 및 집산도로 연장은 사고를 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 미국 플로리다주를 분석 지역으로 한 Siddiqui 외(2012)의 연구에 따르면, 제한속도(Posted Speed Limit, 이하 PSL)가 40km/h인 도로연장이 증가할 경우 교통사고 및 심각한 부상사고가 감소하는 것으로 나타난 반면, 25km/h인 도로연장이 증가할 경우 보행자-차량 사고가 감소하는 것으로 나타났다. Tignor and Warren(1990)은 운전자의 속도 행태에 대한 연구를 통해 낮은 제한속도에서 운전자들의 준수를 기대하기 어려우며, 도시부에서 평균적으로 10명 중 7명은 제한속도를 초과하여 운전한다고 밝히고 있다. 또한 제한속도 준수율은 제한속도가 낮을수록 낮아지는데, 35mph(=56km/h)과 같이 높은 설계속도로

설계되지 않은 도로에서는 제한속도 보다 더 빠른 속도로 주행하려는 성향 때문에 더 위험하다고 제시하고 있다.

교차로 수 또는 밀도는 대체로 교통사고를 증가시키는 변수로 나타났다. 이외에 Pirdavani(2013)에 따르면 유가(fuel-cost) 증가에 대한 시나리오 분석을 통해 유가 증가시 차대차 사고가 감소하는 것으로 분석하였다. 이에 대해서는 유가가 증가할 경우 사고분석에서 가장 중요한 노출변수인 VKT 또는 AADT가 감소하기 때문으로 판단하였다.

<표 3-7> 도로환경변수의 교통사고 영향 검토

| 도로환경변수 | 교통사고 영향 |
|-------------------------------|---|
| 보조간선/집산도로 연장 | • 심각한 부상사고 증가 및 경상사고 감소 ¹⁾ |
| 간선도로 연장 | • 교통사고 증가 ²⁾ |
| 도로연장(km)/면적(km ²) | • 도로율 및 도로연장변수는 교통사고 증가 |
| 제한속도(PSL)별 도로연장(km) | <ul style="list-style-type: none"> • PSL이 25mph(=40km/h)인 도로연장길이가 증가할수록 교통사고 감소, 이보다 높은 PSL에서는 교통사고 및 심각한 부상사고 증가³⁾ • PSL이 15mph(25km/h)인 도로연장길이가 증가할수록 보행자-차량사고 감소⁸⁾ |
| 3지/4지/5지 교차로 수 또는 밀도 | <ul style="list-style-type: none"> • 3지 교차로 비율 증가시 교통사고 감소⁴⁾ • 교차로 증가시 보행자-차량사고 증가³⁾, 심각한 부상 사고 증가⁵⁾, 차대차에 의한 사망 및 경상사고 증가⁶⁾ |
| 신호교차로수 | • 신호교차로 증가시 교통사고 증가 ^{2), 4)} |
| 간선과 국지도로가 만나는 교차로 비율 | • 교통사고 증가 ⁴⁾ |
| 횡단보도수 | • 교통사고 증가 ⁷⁾ |

주 1) Quddus, 2008, 2) Wang 외, 2013, 3) Siddiqui 외, 2012a, 4) Karim 외, 2014,
5) Huang 외, 2010, 6) Pirdavani 외, 2013, 7) Lascala, 2000, 8) Siddiqui 외, 2012b

4) 교통환경변수

<표 3-8>은 교통사고에 영향을 미치는 교통환경변수를 살펴본 것인데, AADT나 VKT와 같이 일반적으로 교통사고 노출변수로 사용되는 변수들은 대부분 교통사고를 증가시키는 변수로 나타났다. 또한 교통흐름(PCU km/h)이나 교통량 집중도, 버스정류장 수와 같은 변수들의 경우 모두 교통사고를 증가시키는 변수로 나타났는데, 이들의 공통점은 결국 차량간 또는 보행자-차량간 상충을 증가시킨다는 것이다.

Pirdavani 외(2013)에 따르면 링크의 평균 용량이 증가할 경우 차대차에 의한 사망사고 및 경상 사고가 증가하는 반면, Karim 외(2014) 및 Helai Huang 외(2010)에 따르면 평균 통근시간이 길어질수록 교통사고는 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 VKT 대비 대중교통주행거리(TKT) 비율은 교통사고를 증가시키는 것으로 나타났다. 이외에 Karim 외(2014)의 연구에 따르면 카풀이나 통근버스 이용비율이 증가할수록 교통사고는 감소하는 것으로 나타난 반면, 걸어서 통근하는 비율이 증가할 경우 교통사고는 증가하는 것으로 나타났다.

교통환경변수에는 사고분석모형에서 가장 중요한 노출변수를 포함하고 있으며, Quddus(2008)에 따르면 노출변수가 포함되지 않을 경우 모형 자체의 유의성을 확신할 수 없다. 즉, Quddus(2008)는 사망사고 모형에서 ward-level의 평균 속도(average traffic speed)를 변수로 사용하였으나, 사망사고 모형에서 통계적으로 유의하게 나타나지 않았고 일부 모형에서는 속도의 증가가 교통사고를 감소시키는 것으로 분석되었다고 제시하고 있다. 이 연구에서는 이러한 분석결과가 나타난 원인 중의 하나로 VKT와 같은 제일 좋은 노출변수가 ward-level에서의 모형에 포함되지 않았기 때문으로 판단하고 있다.

<표 3-8> 교통환경변수의 교통사고 영향 검토

| 교통환경변수 | 교통사고 영향 |
|----------------------------|--|
| AADT 또는 수단별 AADT 비율(%) | • 교통사고 증가 |
| VKT 또는 수단별 VKT 비율(%) | |
| VKT 대비 TKT 비율(%) | • 교통사고 증가 ¹⁾ |
| 도로용량(Capacity) | • 링크의 평균 용량 증가시 차대차에 의한 사망사고 및 경상사고 증가 ²⁾ |
| 교통흐름(PCU km/h) | • 심각한 부상 및 경상사고 증가 ³⁾ |
| 교통량 집중도(Traffic Intensity) | • 교통사고 및 심각한 부상사고 증가 ⁴⁾ |
| 버스정류장 수 | • 보행자 사고 증가 ⁵⁾ |
| 평균 통근시간 | • 대중교통 통행거리 증가시 사고 감소 ¹⁾ • 통근시간 증가시 교통사고/심각한 부상사고 감소 ⁴⁾ |

자료 1) Karim 외, 2014, 2) Pirdavani 외, 2013, 3) Quddus, 2008, 4) Helai Huang 외, 2010, 5) 박승훈, 2014

주 1) VKT는 총차량주행거리, TKT는 대중교통주행거리를 의미함

2) 교통량 집중도(Huang 외, 2010)는 도로연장 대비 DVMT(일평균 차량통행마일, Daily vehicle miles traveled)을 의미함

5) 서울시 특성 변수 검토

선행연구 검토를 통해 특히 TAZ내 총 도로연장 대비 제한속도(PSL)별 도로연장(km) 비율(%), VKT, TAZ내 총 가구(인구) 대비 기초생활수급가구(인구) 비율(%), 연령계층별 인구 구성비율, 가구소득수준(10분위), 평균 공시지가(평균 부동산 가격 대신 사용) 등에 대한 변수를 포함하여 사고유형별 교통사고 발생 특성을 살펴보고자 한다.

또한 이외에 서울시의 독특한 공간 특성을 TAZ단위로 표현할 수 있는 지표로서 전입인구비율(%), 총 주택면적 중 아파트 면적비율(%), 토지이용의 다양성(Landuse balance), 제한속도가 30km/h 이상 차이나는 도로간 접속지점 수, 총 도로연장 대비 버스전용차로의 연장비율(%) 등을 포함하여 교통사고 분석모형을 구성하고자 한다.

① 주거제도(전세, 월세)의 특수성 반영

우리나라는 전세라는 독특한 주거형태로 인해 공간이동이 활발히 일어나므로 이러한 공간특성을 반영하기 위해 전입인구비율을 산정하였다. 전입인구비율은 TAZ 인구 대비 전입인구 비율로 산정되며, 서울시 및 통계청 홈페이지 자료를 이용하였다. 전입인구비율이 높을수록 새로운 환경에 적응해야 할 운전자 및 보행자가 증가하므로 교통사고를 증가시킬 것으로 예상된다.

② 도시환경의 특수성 반영

서울시는 주택유형 중 아파트가 차지하는 비율이 높으므로 이러한 도시 및 근린환경이 교통사고 발생에 미치는 영향을 알아보기 위해 총 주택면적 중 아파트가 차지하는 비율을 변수로 채택하였다. 특히 일정규모 이상이 아파트단지 건설시 단순히 주택만 들어서는 것이 아니라 이로 인한 교통유발효과를 억제하기 위해 주변 교통환경도 함께 개선되므로 아파트 건설시 개선된 주변의 공간환경이 교통사고와 어떠한 관계를 가지는지 살펴보고자 한다. 일부 연구(박승훈, 2014)에 따르면 미국 시애틀시에서 발생한 보행자-차량 사고의 경우 주택유형(단독, 다세대) 비율을 변수로 활용한 사례가 있으며, 단독주택 비율이 높을수록 보행자-차량간 사고가 감소하고 다세대주택 비율이 높을수록 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 이외에 어린이집을 비롯한 학교, 병원, 대기업의 경우 인구유발효과가 크므로 차대사람 사고를 증가시킬 것으로 예상된다.

서울시 통계정보시스템에 따르면 서울시에서 가장 많은 주택유형이 아파트로 나타났다. 다만 전국단위와 비교할 때 아파트 비율이 상대적으로 낮게 나타났는데, 이는 수도권의 1기 및 2기 신도시 및 지방광역권의 대규모 택지개발시 아파트 비율이 월등히 높기 때문으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 서울시의 이러한 주택유형 분포가 유형별 교통사고 발생 특성에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

<표 3-9> 서울시 주택유형비율(%) 현황_2010년

| 구분 | 단독주택 | 아파트 | 연립주택 | 다세대주택 | 비거주용 건물내 주택 | 주택이외의 거처 |
|----|------|------|------|-------|----------------|-------------|
| 서울 | 39.5 | 41.0 | 6.1 | 9.8 | 1.4 | 2.2 |
| 전국 | 40.4 | 47.1 | 4.5 | 5.6 | 1.1 | 1.3 |

주: 서울통계시스템(<http://stat.seoul.go.kr>) 내 주거실태현황(주택유형, 점유형태 등)

③ 토지이용의 다양성(Landuse balance)³²⁾ 반영

서울시는 면적 대비 인구밀도가 높은 도시로서 토지이용간 완충지대 없이 조밀하면서 복합적인 토지이용형태를 가지고 있다. 이러한 토지이용의 특징이 교통사고 발생에 미치는 영향을 살펴보기 위해 토지이용용도의 다양성을 나타내는 지표를 활용하고자 하였다. 김태형과 고준호(2016)의 연구³³⁾에 따르면 다양성은 토지이용균형(Landuse balance)와 토지이용혼합(Land use mix)으로 파악할 수 있는데, 개념적으로 차이가 존재한다. 즉, 토지이용균형은 엔트로피(Shannon entropy) 개념으로 그 값이 0에 가까우면 어느 한 토지이용이 우세한 것으로 볼 수 있고, 1에 가까우면 토지이용이 균등한 면적으로 균형을 이루고 있음을 의미한다. 이에 반해 토지이용 혼합은 토지이용간 상이도(dissimilarity)로 측정하는 개념이다.

이에 본 연구에서는 토지이용균형을 다음 식(Cervero and Kockelman, 1997)³⁴⁾을 통해 산정하였다.

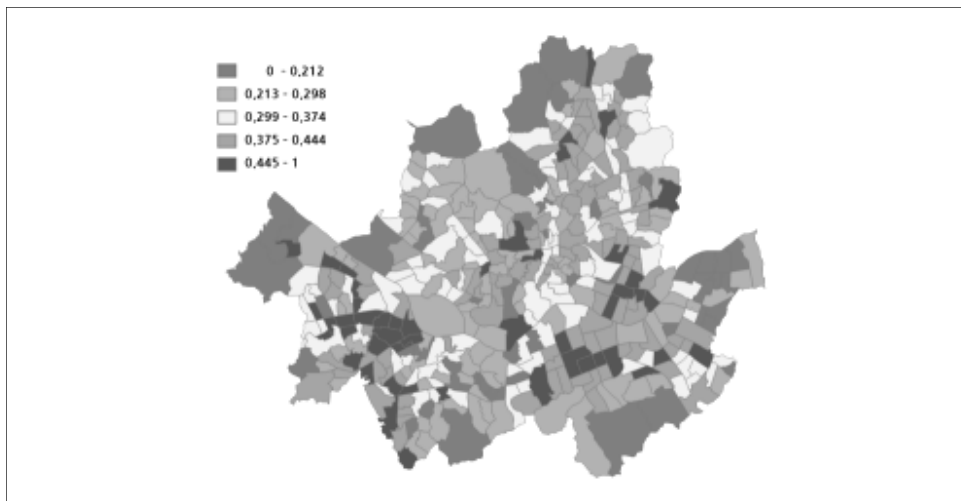
32) 해외 연구에서는 도시의 복합쇠퇴지수(Index of multiple deprivation scores)(Noland 외, 2004)등이 교통사고 발생에 미치는 영향을 살펴본 사례가 있어 이를 서울시 교통사고 모형에 적용하고자 하였으나, 우리나라의 경우 이에 대해 승인된 통계지표가 부재하여 본 연구에서는 토지이용의 다양성을 나타낼 수 있으면서 쉽게 구할 수 있고, 쉽게 변하지 않는 자료를 활용하는 지표를 설명변수로 포함하였다.

33) 김태형, 고준호, 2016, 대도시 토지이용 압출도 지표의 개발 및 적용 - 서울시를 대상으로, 서울도시연구, Vol.17, No. 1, pp.1-21

34) Cervero, R, Kockelman, K, (1997). TRAVEL DEMAND AND THE 3DS: DENSITY,

$$\text{토지이용 Entropy} = - \sum_j^n \frac{p_j \ln(p_j)}{\ln(J)} \quad \text{식 (1)}$$

여기서 p_j 는 토지이용용도 i 의 면적 비율(%)을, J 는 토지이용의 유형 개수를 의미한다. 본 연구에서는 서울시 토지이용용도 i 를 주거, 상업 및 업무, 공업, 위락, 녹지 등 5개로 구분하고 토지이용 균형정도를 산정하여 교통사고에 미치는 영향을 살펴보았다. 일부 연구(박승훈, 2014)에 따르면, 보행자-차량 사고(미국 시애틀시의 사례)는 혼합적 토지이용비율이 높아질수록 감소하였고, 상업지 비율이 높아질수록 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 인구 밀도가 높고³⁵⁾ 토지이용이 복합적인 서울시의 도시 및 근린환경은 유입인구를 증가시켜 노출빈도를 증가시킴으로써 교통사고를 증가시킬 것으로 예상되어 후보변수에 포함하였다.



<그림 3-2> 서울시 토지이용복합정도의 분포 현황

DIVERSITY, AND DESIGN. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 2, Issue 3, p. 199-219.

35) 국토연구원의 세계도시정보(2009)에 따르면 서울시의 인구밀도는 1km²당 1만6,700인으로 세계1위로 나타났으며, 이는 미국 뉴욕(2,050인)의 8배, 영국 런던(5,100인)의 3배에 이르는 수치이다.

④ 간선도로에 접속되는 도로간 상대속도 차이에 따른 사고영향 반영

접속되는 도로간 통행속도의 차이가 교통사고에 미치는 영향을 파악하고 싶었으나, 연구의 공간적·시간적 집계단위를 고려하여 제한속도의 차이로 대신하였다. 두 도로 간의 제한속도 차이가 30km/h 이상인 지점 수는 예를 들어 제한속도 30km/h인 생활도로가 제한속도 60km/h인 간선도로에 접속되는 경우를 의미한다. 423개 TAZ 중 50%의 TAZ는 이러한 지점이 5개소 미만인 것으로 나타났다. 이 데이터는 GIS 분석을 통해 TAZ별로 산출하였고, TAZ내 총 도로연장 대비 제한 속도가 30km/h 이하인 도로연장 비율 등을 후보변수로 사용하였다.

⑤ 중앙버스전용차로제 운영에 따른 사고영향 반영

국민권익위원회(2011)³⁶⁾에 따르면 2009년에 서울시내에서 발생한 버스 사고 가운데 중앙버스전용차로에서 발생한 사고는 324건으로 전체의 30%이나, 사망자는 18명으로 전체의 60%가 넘는다고 인용하면서 중앙버스전용차로제에 대한 안전측면의 대책 마련이 시급한 실정이라고 주장하였다. 중앙버스전용차로에 관련 사고건수가 증가한데에 대해 버스의 운행속도가 평균 30% 이상 증가하였기 때문으로 판단하였다.

<표 3-10> 교통사고 발생현황 비교(2009년)

| 구 분 | 발생건수(A) | 사망자수(B) | 부상자수 | 치사율(B/A) |
|----------------------------|-----------|---------|-----------|----------|
| 중앙버스전용차로 관련 보행자-버스 교통사고 | 52 건 | 12 명 | 48 명 | 23% |
| 전국 교통사고 | 231,990 건 | 5,838 명 | 361,875 명 | 2.5% |

자료 : 경찰청

36) 국민권익위원회 사회제도개선담당관, 2011. 3, 중앙버스전용차로 교통사고 방지를 위한 제도 개선

<표 3-11> 서울·경기지역 보행자-버스 교통사고 현황 비교(2010년)

| 구 분 | 발생건수(A) | 사망자수(B) | 부상자수 | 치사율(B/A) |
|----------------------------|---------|---------|---------|----------|
| 중앙버스전용차로 관련 보행자-버스 교통사고 | 48 건 | 4 명 | 50 명 | 8.3% |
| 전체 보행자-버스교통사고 | 2,273 건 | 155 명 | 2,251 명 | 6.8% |

자료 : 전계서

또한 2014년에 서울시에서 발표한 「교통사고사상자 줄이기 종합대책」에는 5대 분야 11개 세부정책이 포함되었는데, 이 중 중앙버스전용차로 시설 개선이 포함되었다. 이러한 교통안전 정책 수립을 뒷받침하기 위해서는 중앙버스전용차로가 유형별 교통사고 발생에 미치는 영향에 대한 분석을 통해 영향의 방향과 크기를 반영할 필요가 있다.

버스전용차로의 사고와 관련된 연구에서 임삼진 외(2006)는 2004년 대중교통체계 개편 이후 3개월(2004년 10~12월)간의 자료를 토대로 버스사고가 17.7%, 사망 및 사상자수는 10.7% 감소하였다고 제시하였다. 그러나 임준범 외(2012)³⁷⁾에 따르면 중앙버스전용차로제 도입으로 버스사고건수는 1.2배, 사망자수는 3배, 부상자수는 1.8배 증가한 것으로 나타났다. 또한 홍지연(2013)과 정보미(2015)는 VKT와 같은 노출변수에 대한 영향을 고려하지는 않았으나, 공간분석을 통해 버스전용차로 설치비율(%)이 교통사고 발생에 미치는 영향을 검토하였다. 또한 상기 연구에서는 교통사고를 심각도 또는 사고유형으로 구분하지 않고 있어 본 연구에서는 버스전용차로 연장비율이 사고유형별 교통사고에 미치는 영향을 살펴보았다.

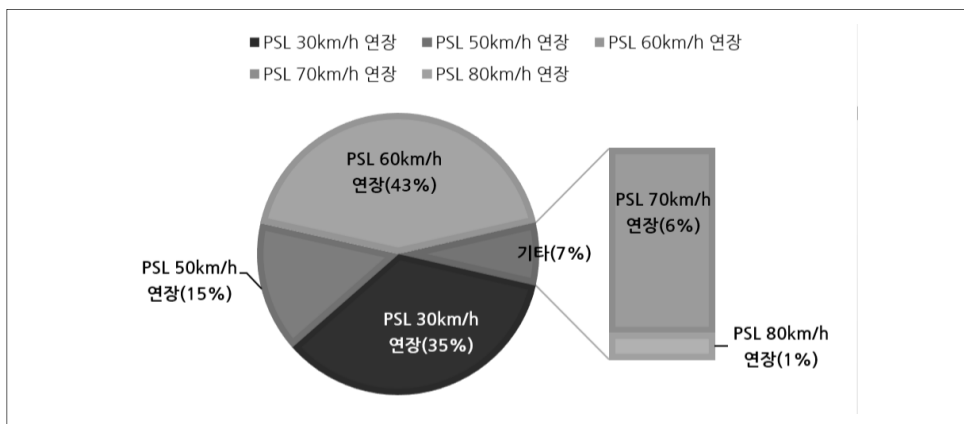
⑥ 제한속도에 따른 교통사고 영향

최근(2016년 4월) OECD에서 발표한 「한국의 도로안전에 관한 보고서」에서는 우리나라 도시내 제한속도(Posted Speed Limit)를 50km/h 이하로 낮출 것을 권고하고 있다. 그 이유로 전세계적으로 도시내 제한

37) 2003년 9~12월의 버스사고건수를 2004년 9~12월에 발생한 버스사고건수와 비교한 수치이다.

속도는 하향화 추세이며, 도시내 PSL이 60km/h 이상인 OECD 38개국 중 한국과 칠레³⁸⁾에 불과하다. 프랑스 파리는 전체 도로의 1/3정도의 도로에서 30km/h 이상 달릴 수 없으며, 스코틀랜드 에든버러는 2014년 시내 도로의 80%를 제한속도 20mph(32km/h) 도로로 정비하기로 했다. 또한 속도가 30km/h 이하인 차량과 부딪칠 경우 보행자 생존율은 90% 이상이나 45km/h일 때는 50% 이하로 급감하기 때문이다.

또한 많은 선행연구에서 제한속도 도로연장비율이 사고심각도에 미치는 영향에 대한 연구를 시행하였으나, 국내 연구는 미미한 실정이며, 사고 유형과의 영향 관계에 대한 연구는 전무하기 때문에 본 연구에서 제한 속도에 따른 사고 유형별 영향관계를 살펴보고자 한다.



〈그림 3-3〉 서울시 제한속도(PSL)별 도로연장구성비율

⑦ 기타

또한 어린이 보호구역을 의무적으로 설치해야 하는 어린이집, 유치원, 초등학교 수와 노인 보호구역을 후보변수로 설정하였다. 이외에 박승훈 (2014)에 따르면, 보행자-차량 사고(미국 시애틀시의 사례)는 평균 부동산 가격이 높을수록 감소하는 것으로 나타나 서울시 교통사고 분석모형의 후보 변수로 TAZ별 공시지가를 선정하여 교통사고와의 관계를 살펴보았다.

38) 칠레는 OECD 가입 이후 인구 10만명당 전체 교통사고 사망자수 1위를 차지해온 나라이다.

<표 3-12> 서울시 공간특성을 고려한 독립변수 설정

| 구분 | 독립변수 | 교통사고 영향관계 예상 |
|----------------------------|--|---|
| 인 구 지 표 | • 전입인구비율(%) (타 TAZ에서 전입한 인구비율, %) | 차대차 사고 증가 |
| | • 총 가구 중 기초생활수급가구 비율(%) | 보행자-차량사고 증가 |
| | • 연령계층별 인구구성비율(%) - 15세 미만 - 15세 이상~65세 미만 - 65세 이상 | 연령계층별 교통사고 영향이 다를 것으로 예상 |
| 사 회 경 제 지 표 | • 어린이집, 유치원, 초등학교 | 차대사람 사고 증가 |
| | • 병원, 대기업, 코스닥, 대학교 | 차대사람 사고 증가 |
| | • 토지이용 다양성 지표 | 차대차 사고 증가 |
| | • 총 주택면적 대비 아파트면적 비율(%) | 예측 곤란 |
| | • 평균공시지가 | 예측 곤란 |
| 도 로 환 경 지 표 | • 제한속도별 도로연장 비율 | 예측 곤란, 다만, PSL이 30km/h인 경우는 다른 PSL과 차이가 있을 것으로 예상 |
| | • 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점수 | 차대차 사고 증가 |
| | • 총 도로연장 대비 버스전용차로 연장 비율(%) | 차대차, 보행자-차량사고 증가 |
| | • 어린이보호구역수 | 차대사람 사고 감소 |
| | • 노인보호구역수 | 차대사람 사고 감소 |
| | • 지하철역수, 버스정류장 수 | 예측 곤란 |

6) 분석모형 설정

서울시 사고유형별 교통사고의 발생 특성을 분석하기 위한 분석모형을 다음과 같이 구성하였다.

*ln*유형별 교통사고 건수 (차대차, 보행자-차량, 차량단독, 전체 사고)

- = 인구환경변수 {전입인구비율(%), 기초생활수급가구 비율(%),
연령계층별 인구 구성비율(%), 가구소득수준(10분위),
인구밀도(인/㎡), 종사자밀도(인/㎡)}
- + 도시환경변수 {평균 공시지가, 총 주택면적 중 아파트 면적비율(%),
토지이용의 다양성지표(landuse balance), 영유아 및
초등교육기관 수, 대기업 및 대학교 수, 주거 또는
상업면적비율}
- + 도로환경변수 {제한속도(PSL)별 도로연장(km) 비율(%),
제한속도가 30km/h 이상 차이 나는 도로간 접속지점 수,
총 도로연장 대비 버스전용차로의 연장비율(%),
차로수별 연장비율 및 차로수간 접속지점 수}
- + 교통환경변수 {VKT(노출변수), 버스정류장수, 지하철역수, 횡단보도수,
3지/4지/5지 교차로수, 노인 및 어린이 보호구역 수,
신호등 수}

서울시 교통사고의 발생특성을 이해하기 위한 분석모형으로 본 연구에서는 공간계량모형을 적용하였다. 시간의 흐름에 따라 수집되는 시계열 데이터는 자기상관성을 갖게 되는데 공간단위로 수집되는 공간데이터 역시 공간적 종속성(spatial dependence)과 공간적 이질성(spatial heterogeneity)을 갖게 된다. 이러한 공간데이터를 일반선형회귀로 추정시 OLS의 기본가정을 충족시키지 못하여 추정결과에 오류가 발생할 가능성이 있으므로 공간데이터를 설명변수로 하는 공간계량모형의 적용이 필요하다(이성우, 2006). 왜냐하면 Gauss-Markov의 정리에 의해 OLS의 기본가정이 충족되어야 OLS로 추정된 계수값을 신뢰할 수 있기 때문이다. OLS의 기본가정으로는 선형성, 오차항의 정규성과 등분산성, 그리고 오차항의 독립성이 있다.

이에 본 연구에서는 기준모형으로 OLS, 대안모형으로는 전역적 공간회귀모형과 국지적 공간회귀모형을 설정하고, 전역적 공간회귀모형은 오차항과

시차항의 공간적 종속성을 모두 통제하는 일반공간모형(SAC; Generalized Spatial Model), 오차항의 공간적 종속성을 통제하는 공간오차모형(SEM), 시차항의 공간적 종속성을 통제하는 공간시차모형(SLM)을 분석하고 국지적 대안 모형으로 지리적가중회귀모형(GWR)을 분석하였다. 다만 공간 데이터의 특성 중 전역적 모형은 공간적 상관성을, 국지적 모형은 공간적 상관성과 이질성을 모두 고려하는 모형이다.

<표 3-13> 교통사고의 시·공간적 영향요인 분석을 위한 모형 검토

| 구 분 | 검토 모형 | | 수식 | 비고 |
|------------|--------------------------|---|---|--------------------|
| 기 준 모 형 | 일반회귀모형(OLS) | | <ul style="list-style-type: none"> • $y = X\beta + u$ • $u \sim N(0, \sigma^2)$ | • OLS기본가정 충족 |
| 대 안 모 형 | 전역적 공 간 회 귀 모 형 | 일반공간모형 (SAC; General Spatial Model) | <기본식> <ul style="list-style-type: none"> • $Y = \rho W_1 Y + X\beta + u$ • $u = \lambda W_2 u + \epsilon$ • $\epsilon \sim N(0; \sigma^2 I_n)$ • W_1 : 설명변수로 활용 • W_2 : 오차항으로 귀속 • ρ, λ : W_1과 W_2의 계수 | • 공간상관성 고려 |
| | | 공간시차모형 (SLM) | <ul style="list-style-type: none"> • $Y = \rho W_1 Y + X\beta + \epsilon$ • $W_2 = 0$ • $\epsilon \sim N(0; \sigma^2 I_n)$ | |
| | | 공간오차모형 (SEM) | <ul style="list-style-type: none"> • $Y = X\beta + u \quad (W_1 = 0)$ • $u = \lambda W u + \epsilon$ • $\epsilon \sim N(0; \sigma^2 I_n)$ | |
| | 국지적 공 간 회 귀 모 형 | 지리적 가중회귀모형 (GWR) | <ul style="list-style-type: none"> • $Y_i = f_i(X_i\beta_i + \epsilon_i)$ • $\epsilon \sim N(0; \sigma^2 W^{-1})$ | • 공간상관성과 공간이질성을 고려 |

자료: Ulfrarsson and Shankar (2003)의 연구를 기반으로 작성

본 연구에서는 4개의 종속변수와 5개의 모형에 대해 분석하였으며, 분석의 목적은 서울시의 교통사고 유형별 발생 특성을 나타내는데 통계적으로 가장 훌륭한 모형을 선정하고 이를 통해 서울시의 교통사고 발생 특성을 파악하여 교통사고에 안전한 서울시를 만들기 위한 교통안전정책 수립에 실증적 연구기반을 제시하기 위함이다.

<표 3-14> 서울시 교통사고 모형 분석체계 설정

| 종속변수 \ 모형 | | 기준모형 | 대안모형(공간회귀모형) | | | |
|-----------|------|------|--------------|-----|--------|-----|
| | | OLS | 전역적 | | | 국지적 |
| | | | SLM | SEM | 일반공간모형 | GWR |
| 총 사고건수 | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 사고 유형 | 차대차 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 차대사람 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 차량단독 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

주 : 모든 유형의 사고건수는 자전거와 관련 사고가 제외된 수치임

제3절 모형의 검증방법

회귀모형에 제시된 변수의 영향을 신뢰할 수 있는지를 판단하기 위해서는 회귀모형 분석결과에 대한 검정 및 진단 과정이 중요한데, 이에 대한 진단은 공간상관성의 존재여부 확인, 회귀모형을 충족시키기 위한 기본가정의 준수 여부, 회귀모형의 설명력(R^2)과 추정된 변수의 유의성에 대한 판단으로 이루어진다.

<표 3-15>에 제시한 바와 같이 공간상관성은 Moran's I값을 통해 확인할 수 있으며, Koenker (BP) 통계량이 통계적으로 유의할 경우 비고정성(non-stationary)이나 이분산으로 인해 일관되지 않음(not consistent)을 의미한다. LM검정을 통해서도 공간상관성의 위치가 공간오차항에 있는지 공간시차항에 있는지 파악할 수 있다.

<표 3-15> 기준모형(OLS)의 공간상관성 진단

| 구분 | 지표 | 판단 |
|---------------------|---------------------------------------|---|
| 모형 안정성 | Koenker (BP) 통계량 | <ul style="list-style-type: none"> 통계적으로 유의할 경우 비고정성 (non-stationary)이나 이분산으로 인해 일관되지 않음(not consistent) GWR을 통해 OLS의 결과 개선 가능성을 의미 |
| 잔차의 공간적 자기상관성 | Moran's I | <ul style="list-style-type: none"> 통계적으로 유의할 경우 공간적으로 상관성을 가짐 |
| 적합한 대안모형 선택 | LM(lag) 검정 - Robust LM(lag) 검정 | <ul style="list-style-type: none"> 통계적으로 유의할 경우 공간시차 모형이 회귀모형에 비해 더 적합 |
| | LM(error) 검정 - Robust LM(error) 검정 | <ul style="list-style-type: none"> 통계적으로 유의할 경우 공간시차 모형이 회귀모형에 비해 더 적합 |
| | LM(SARMA) 검정 | <ul style="list-style-type: none"> 통계적으로 유의할 경우 공간오차항과 공간시차항의 동시 적용시 유의 |

본 연구의 OLS 분석 이후 독립변수간 다중공선성, 모형 설명력, 설명변수의 효율성, 모형의 안정성, 오차의 정규성, 잔차의 공간적 자기상관성, 공간적 종속성의 위치 확인을 위한 LM(Lagrange Multiplier) 검정을 실시한다. 이를 통해 OLS 모형의 문제점을 진단하고 적합한 대안모형을 설정하여 분석을 수행하게 된다. 예를 들어, 최소제곱 추정량의 경우 오차항이 비정규분포를 갖는 경우에도 BLUE(Best Linear Unbiased Estimator)가 된다. 그러나 Jarque-Bera 검정결과 귀무가설을 기각하지 못하여 오차항이 비정규분포인 경우 회귀모수에 대한 유의성 검정이나 신뢰구간 추정이 유효성을 상실하게 된다.

기준모형 및 각 대안모형 분석 이후에는 <표 3-17>과 같은 다양한 검정을 통해 모형의 설명력과 통계적 유의성을 비교하고 최적 모형을 선정하였다.

<표 3-16> 기준모형(OLS) 기본가정의 통계적 진단

| 구분 | 지표 | 판단 |
|----------------|--|--|
| 독립변수간 다중공선성 | VIF (Variance Inflation Factor) | • 7.5보다 작으면 독립변수간 다중공선성 문제 없음 |
| 모형설명력 | R^2 | • 설명변수가 종속변수의 변량을 설명하는 정도 |
| | AIC | • 모형간 비교시 사용 • 일반적으로 모형간 AIC차이가 4보다 클때 모형이 개선되었다고 판단 |
| 설명변수의 효율성 | JFS(Joint F Statistic) (H_0 : 설명변수가 효율적이지 않다) | • 귀무가설 기각시 설명변수 효율적 (effective)임 |
| | Joint Wald Statistic(JWS) (H_0 : 설명변수가 효율적이지 않다) | |
| 오차의 정규성 | Jarque-Bera 검정 (H_0 : 오차의 정규성(Normality)) | • 통계적으로 유의할 경우 오차가 정규분포하지 않아 예측 결과가 편기되었음을 의미함 |

<표 3-17> 모형별 설명력 및 통계량 검토

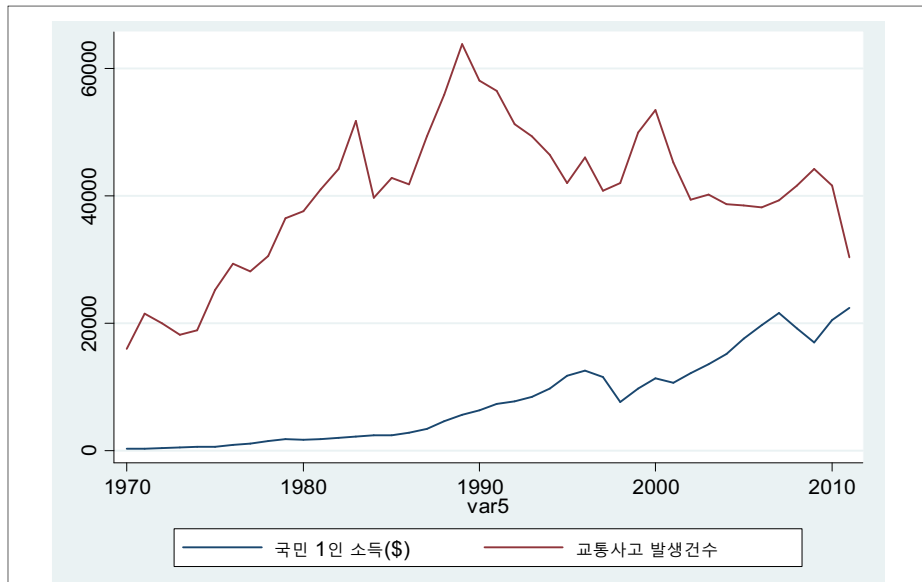
| 구 분 | 검토 모형 | | 모형 설명력/적합성 판단 통계량 |
|------------|--------------------|----------------------------|--|
| 기 준 모 형 | 일반적인 회귀모형 (OLS) | | <ul style="list-style-type: none"> • R^2, $Adj.R^2$: 회귀모형의 결정계수 • Jarque-Bera : 오차의 비정규성 진단 • Breusch-Pagan : 오차의 이분산성 진단 • LM-검정 : 공간적 종속성의 위치 진단 |
| 대 안 모 형 | 전역적 공간회귀 모형 | 일반공간모형 공간시차모형 공간오차모형 | <ul style="list-style-type: none"> • R^2, $Adj.R^2$: 모형 설명력 • Log Likelihood : 모형 적합성 • AIC : 모형 적합성 • Breusch-Pagan : 오차의 이분산성 진단 • Likelihood Ratio : 공간적 종속성 판단 |
| | 국지적 공간회귀 모형 | 지리적가중 회귀모형 (GWR) | <ul style="list-style-type: none"> • R^2, $Adj.R^2$: 회귀모형의 결정계수 • AIC : 모형 적합성 • 표준화된 잔차의 Moran's I 지수 • ANOVA분석 및 F 검정 : GWR의 유의성 |

제4장 데이터 구축 및 기초통계분석

본 장에서는 교통사고 발생특성 분석을 위한 공간적 범위인 서울시를 대상으로 교통사고 발생 특성을 검토하고 모형 분석에 필요한 데이터를 구축하였으며, 이에 대한 기술통계량을 제시하였다.

제1절 서울시 교통사고 발생 특성 검토

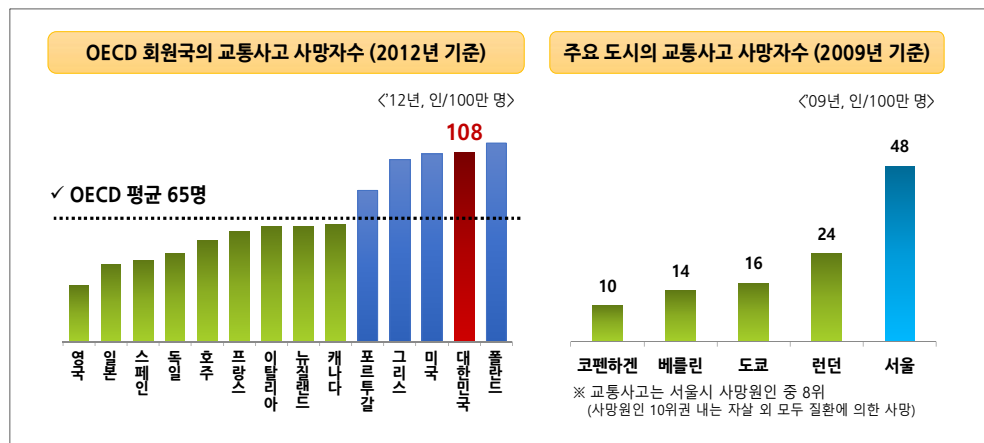
서울시 교통사고는 1980년 말에 최고점(1989년, 63,835건)을 기록한 이후 점차 감소하고 있으며, 교통사고 추이를 1인당 국민소득수준 추이와 비교해보니 국민 소득수준이 일정 수준 이후로 증가함에 따라 교통사고는 감소하는 것으로 나타났다. 2010년 현재 서울시에서는 인구 십만 명당 393건의 교통사고가 발생하였고 자동차 일만 대당 1명의 사망자가 발생하였다.



〈그림 4-1〉 서울시 교통사고 발생추이(1970 ~ 2011)

자료 : 교통사고 발생건수 : 지표로 본 서울>2010>도시관리지표, <http://data.si.re.kr/node/367#>
국민 1인당 소득 : 통계청

서울시의 이러한 교통사고 수준이 어느 정도인지 파악하기 위해서는 다른 국가와의 비교가 필요하다. 우리나라의 교통사고 사망자수는 2012년 기준 인구 100만 명당 108명이며 이는 OECD 회원국 평균인 65명을 크게 상회하는 수치이다. 또한 주요 도시와 서울시를 비교해 보면 서울시는 2009년 기준 인구 100만 명당 48명으로 도쿄에 비해 3배나 높은 것을 알 수 있다. 우리나라의 자동차 1만대당 교통사고 사망자수(인/년, 2000~2013년)는 우리나라 GDP(2010년 기준)의 73% 수준인 터키와 유사한 수준이며, 인구 10만명당 사망자수는 11.3(인/년, 2000~2013년)으로 GDP 규모가 비슷한 멕시코(4.5인/년)의 2배 이상인 것으로 나타났다.



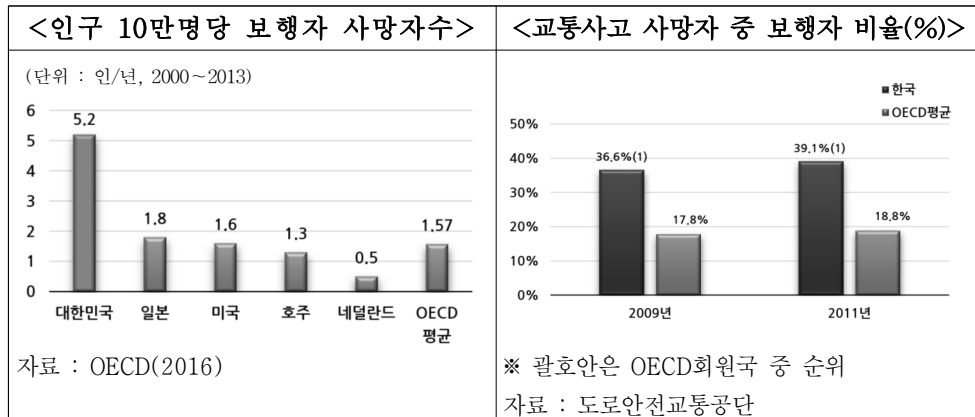
〈그림 4-2〉 우리나라 교통사고 사망자 현황

자료 : 국토해양부, 2015년도 교통안전연차보고서, 2015. 8.,
 서울시 교통사고 사상자 줄이기 종합대책(2014.6.27.) 일부 수정

특히 우리나라 교통사고가 위험한 것은 보행자 사망자수가 높기 때문이다. OECD(2016)³⁹⁾에 따르면 2000~2013년간 인구 10만명당 보행자 사망자수는 우리나라가 5.2명으로 OECD 평균인 1.57명에 비해 3배 이상 높으며, 일본이나 미국에 비해서도 월등히 높은 것으로 나타났다. 또한 교통

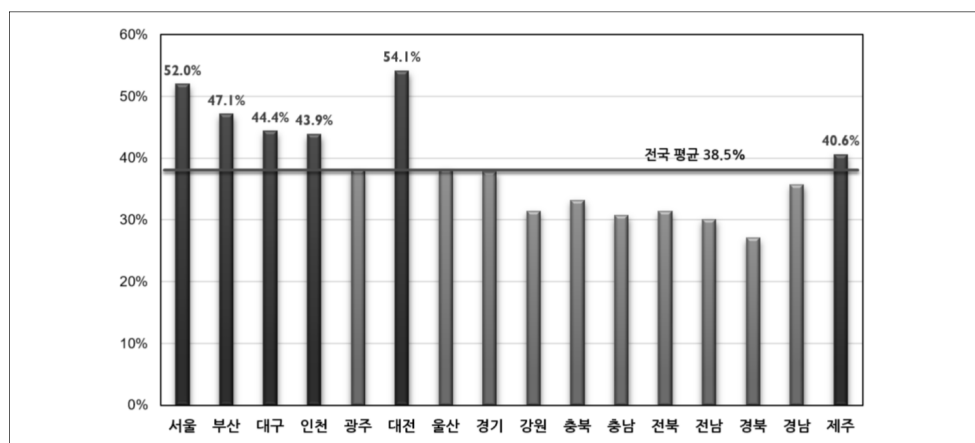
39) OECD, 2016. 4, Road Infrastructure, Inclusive Development and Traffic Safety in Korea, pp.90

사고 사망자 중 보행자 비율은 OECD 평균의 2배에 이르는 것으로 나타나 보행자와 관련된 사고에 대한 영향요인 파악을 통한 교통안전 정책적 대응이 필요할 것으로 판단된다.



〈그림 4-3〉 보행자 사망자 및 보행자 비율에 대한 국가간 비교

서울시와 국내 도시간 교통사고 발생특성을 비교한 결과 2010년 전체 교통사고 사망자수 대비 보행자-차량사고에 의한 사망자수 비율을 살펴본 결과, 전국 평균비율이 38.5%인데 반해 서울시의 경우 52%로 대전시 다음으로 가장 높게 나타났다.



〈그림 4-4〉 지역별 보행자-차량사고에 의한 사망자수 비율(%)

자료: 교통사고분석시스템(TAAS)

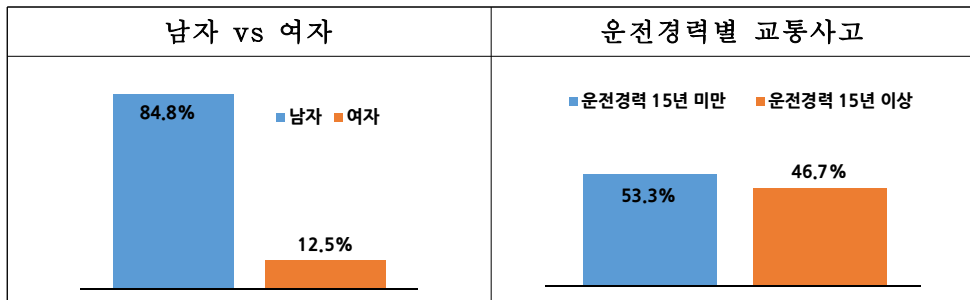
2010년 서울시에서 발생한 교통사고의 발생 특징을 구체적으로 살펴보면, 사고는 야간보다 주간에, 주말보다는 주중에 더 많이 발생하며, 남자에 의한 교통사고가 더 많다. 이는 야간보다는 주간이, 주말보다는 주중이, 여성 운전자보다는 남성 운전자가 교통사고 위험에 노출되는 시간이 많기 때문으로 판단된다. 유두선 외(2008)의 연구에 따르면 주간에 발생한 사고는 교통량 및 보행량, 야간사고는 신호위반이 큰 영향을 미치는 것으로 제시되었다.

부상정도의 경우 경미한 부상이 발생한 사고가 전체 사고의 59%를 차지하였다. 운전경력은 교통사고 발생에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 노인이 피해자인 사고가 전체 사고의 8%로 노인이 가해자인 사고보다 많은 것으로 나타났으며, 이는 어린이가 피해자인 사고보다 높고 특히 노인이 피해자일 경우 사고의 심각도가 증가⁴⁰⁾하는 것으로 나타나 고령화시대를 대비한 교통안전정책이 필요한 것으로 판단된다.

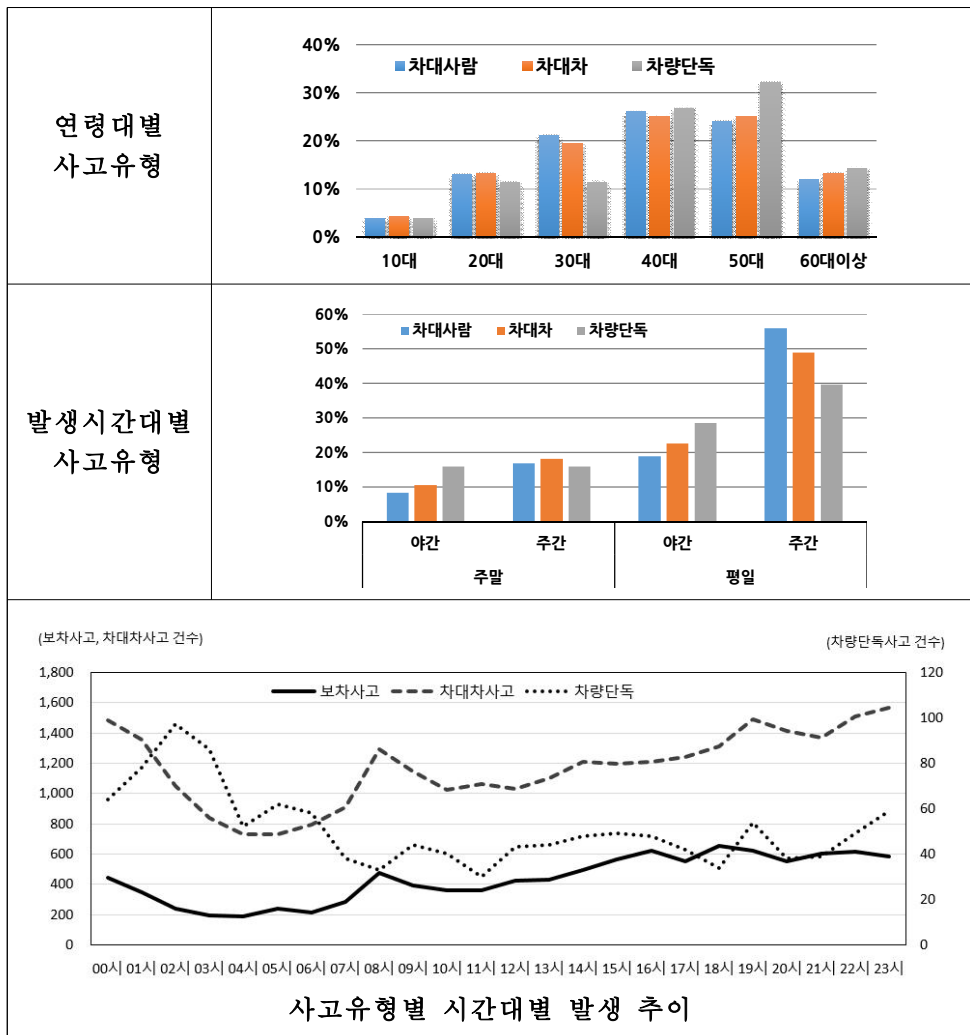
연령대별로는 40~50대에서 교통사고가 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다는데 이는 연령계층 중 가장 경제활동이 활발한 계층으로 교통사고에 대한 노출빈도가 가장 높기 때문으로 판단된다. 사고유형별로는 차대차 사고가 전체 사고의 70%로 가장 많으나, 차량단독사고일 경우 사망사고 비율이 높아지고 40~50대에서 차량단독사고가 증가하는 것으로 나타나 사고유형에 따라 사고심각도가 달라지는 것을 알 수 있다. 차대차 사고는 오전 출근시간에 증가한 이후 잠시 감소하였다가 꾸준히 다시 증가하여 밤 10시에 가장 증가하는 것으로 나타났다. 반면 보차사고는 오전 첨두시에 잠깐 증가하였다가 오후 4시 이후부터 밤까지 꾸준히 증가하는 것으로 나타났으며, 차량단독사고의 경우에는 새벽시간대에 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다.

40) 2010년 서울시 교통사고 자료 분석에 따르면 노인(65세 이상)이 피해자인 교통사고 중 사망 및 중상 이상의 부상이 발생한 경우가 56.9%로 이외 연령대에서 발생한 교통사고에 서의 비율이 35.4%인 점을 감안할 때 노인이 교통사고의 피해자일 경우 부상의 심각도가 증가하는 것을 알 수 있다.

<표 4-1> 서울시 교통사고의 운전자 관련 특성 비교



<표 4-2> 연령대 및 발생시간별 교통사고 발생 특성 비교



<표 4-3> 서울시 교통사고 유형별 발생 특성 비교

| 심각도별 사고 | 교통약자 관련 사고 |
|---|---|
| <p>■ 경미한 부상 ■ 부상 ■ 사망 ■ 심각한 부상</p> <p>58.7% 4.1% 1.0% 36.2%</p> | <p>■ 노인이 가해자인 사고 ■ 노인이 피해자인 사고 ■ 어린이가 피해자인 사고</p> <p>5.6% 8.4% 5.7%</p> |
| 연령대별 사고 | 녹색교통 관련 사고 |
| <p>■ 10대 ■ 20대 ■ 30대 ■ 40대 ■ 50대 ■ 60대 이상</p> <p>4.1% 12.8% 19.0% 24.5% 24.3% 12.5%</p> | <p>■ 보행자 관련 사고 ■ 어린이 관련 사고 ■ 자전거 관련 사고</p> <p>26.7% 6.1% 7.0%</p> |
| 사고유형별 교통사고 | 보행자-차량 사고의 사고심각도 |
| <p>■ 차대차 ■ 차대사람 ■ 차량단독</p> <p>70.6% 26.3% 3.1%</p> | <p>■ 경상사고, 45.4% ■ 부상사고, 4.3% ■ 사망사고, 2.0% ■ 중상사고, 48.3%</p> |
| 차대차 사고의 사고심각도 | 차량단독 사고의 사고심각도 |
| <p>■ 경상사고, 64.0% ■ 중상사고, 31.6% ■ 부상사고, 3.9% ■ 사망사고, 0.5%</p> | <p>■ 경상사고, 50.9% ■ 중상사고, 38.2% ■ 부상사고, 6.8% ■ 사망사고, 4.2%</p> |

또한 음주운전으로 인한 사고발생비율을 사고유형과 사고심각도별로 분석한 결과, 전체 교통사고 중 음주운전에 의한 사고비율은 평균 9.6%인 반면, 사고유형별로는 차대차 사고가 12.2%로 가장 높게 나타났고, 사고심각도 등급에서는 사망사고가 12.3%로 음주운전에 의한 발생비율이 높게 나타났다.

<표 4-4> 음주운전에 의한 사고발생비율 검토

| 자동차 관련 교통사고 ⁴¹⁾ | 사고유형 | | | 사고 심각도 | | |
|-------------------------------|-------|--------|-------|--------|------|------|
| | 차대차 | 보행자-차량 | 차량단독 | 사망사고 | 중상사고 | 경상사고 |
| 9.60% | 12.2% | 3.3% | 11.4% | 12.3% | 10% | 10% |

제2절 분석 데이터 구축

본 연구에서는 2010년 서울시내 423개 TAZ 단위로 교통사고 발생 특성 분석에 필요한 데이터를 구축하였다. 여러 공간정보를 포함하게 될 기본맵으로 서울시에서 작성·배포한 수치지도를 사용하였으며, 교통사고데이터는 교통사고분석시스템(TAAS)에서 제공하는 데이터를 사용하였다. 다만, 교통사고는 법정동 기준으로 구축되고, 분석단위인 TAZ는 행정동 기준이므로 GIS TOOL을 이용하여 TAZ별 사고데이터로 전환하였다.

도로환경변수⁴²⁾로 사용되는 제한 속도 관련 도로연장이나 접속지점수, 도로연장 및 차로수 등은 기본맵인 서울시 수치지도에서 GIS 분석을 통해 생성하고 TAZ별로 그룹핑하였다. 학교수, 대기업, 대학교 등의 주요 시설과

41) 여기서의 자동차 관련 총 교통사고는 이륜차 및 자전거 관련 사고를 제외하고 순수하게 자동차 관련 사고를 말한다.

42) 보행자-차량사고에 대한 물리적 환경 연구(박승훈b, 2014)에서 주차장수를 변수로 활용하였기에 본 연구에서도 TAZ별 주차장수 또는 주차면수 등에 대한 변수를 포함하고자 하였으나, 서울시 행정동별 통계를 살펴본 결과, 속성자료 중 일부 구청의 자료가 누락되어 활용하지 못하였음을 밝힌다.

월평균가구소득은 한국공간정보유통 센터 홈페이지에서 GIS파일(shp)로 다운받아서 사용하였으며, 토지이용별 면적 및 연상면적은 국토해양부에서 제공받아 사용하였다.

인구통계 및 해당동에 종사하는 직장인수, 기초생활수급 통계⁴³⁾는 서울시 홈페이지에서 제공하는 동별 통계자료를 이용하였으며, 교통 및 도로 시설물은 공식절차를 거쳐 서울시의 교통안전시설물 정보를 구득하였고, 버스정류장수는 서울시 TOPIS(Transport Operation and Information Service) 홈페이지에서 다운로드하여 사용하였으며, 지하철역 정보는 KOTI의 교통주제도에서 GIS 매칭을 통해 변환하였다.

차량주행거리(VKT)는 교통수요분석프로그램(Emm/3) 을 통해 추정하였다. VKT 추정의 신뢰도를 높이기 위하여 서울시의 주요 지점에서 매년 수집되고 있는 교통량과 속도를 정산과정에 사용하였다.

월평균 가구소득자료⁴⁴⁾는 포인트형태의 자료로 속성정보에 월 가구소득(단위:

43) 국외 선행연구에서 평균 임금(Karim 외, 2013), 기초생활수급자 비율 및 소득의 중앙값, 실업률(Huang 외, 2010) 등과 같이 지역의 소득수준을 나타낼 수 있는 변수를 활용하여 교통사고에 미치는 영향을 살펴보았다. 이에 본 연구에서도 서울시 교통사고에 영향을 미치는 다양한 소득 관련 변수, 예를 들어, 소득의 불평등 정도를 나타내는 지니계수나, 지역 격차의 완화 및 심화정도를 나타내는 타일계수 등을 검토하였다. 그러나 지니계수의 경우 소득분위별 자료를 토대로 작성되나 극빈층의 소득점유율 변화를 잘 반영하지 못하는 단점이 있고, 또한 주로 구(區) 단위 이상의 큰 공간단위에서 집계된 소득자료를 이용하고 있어 행정동 기반으로 산정하기에는 무리가 있을 것으로 판단하였다. 또한 타일계수의 경우 하나의 TAZ에 대해 계산할 경우 국외 연구에서 변수로 포함된 종사자수 밀도나 인구 대비 종사자수 비율과 그 의미가 다르지 않을 것으로 판단되어 본 연구에서 직접 생성하기 보다는 공인된 통계자료를 그대로 활용하였다. 타일계수의 산정식은 다음과 같다.

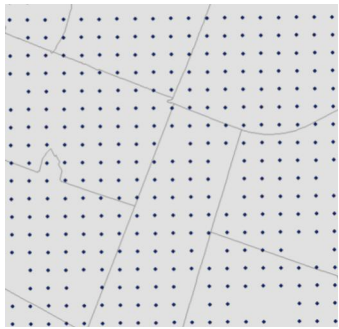
$$Theil = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{\mu_t} \right) \log \left(\frac{y_i}{\mu_t} \right), \text{ 여기서 } n \text{ 은 총 지역수, } y_i \text{ 는 지역 } i \text{ 의 인구수 또는 고용량,}$$

μ_t 는 평균 인구수 또는 평균 고용량을 의미한다.

44) 본 연구에서 사용한 월평균가구소득 10분위에 대한 구분은 현재 통계청에서 공표하고 있는 자료이므로 이를 그대로 인용하였으나, 1인 가구를 제외한 소득기준으로서 1인 가구를 포함했을 경우 분위별 소득수준은 더 낮아질 수 있음을 밝힌다. 따라서 모형의

원)으로 되어 있으며 이를 TAZ별로 그룹핑하여 평균가구소득을 구한 뒤 변수화할 때는 통계청의 도시지역 월평균가구소득(2인 이상 가구) 10분위에 따라 10분위수로 전환하여 활용하였다. 분위별 월평균 가구소득기준은 부록에 제시하였다.

<표 4-5> 월평균 가구소득분위 변수 생성

| 데이터 형태 | 데이터 구축 및 생성방법 |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> • 서울시 포인트 수 : 29,411개 • 데이터 출처 : biz-gis.com • 데이터 추출근거 <ul style="list-style-type: none"> - 아파트, 빌라, 다세대, 일반주택의 가격 정보와 통계청 지역통계 자료 및 국세청의 납세정보 등을 결합하여 세대별 소득 추정 • 본 연구에서 이러한 포인트데이터를 TAZ기준으로 병합하여 TAZ내 월평균가구소득을 구하고 이를 10분위수로 전환 |

서울시에서 일어나는 교통사고에 영향을 줄 것으로 예상되어 수집한 데이터는 다양한 형태이나 이를 모두 GIS 파일로 변환하여 기본맵을 토대로 수집·구축하였으며, 이들에 대한 기본적인 정의는 선행 연구와 유사하다.

분석 결과를 해석할 때 이 점을 참고해야 한다.

※ 2010년 현재 서울시의 총 가구수는 3,504천가구(평균 가구원수는 2.7인)이며, 이중 1인 가구는 855천가구로 전체 가구의 24.4%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다.(자료 : e-서울통계 100호)

<표 4-6> 데이터 구축목록

| 구분 | 데이터 구축목록 | 자료 출처 | 구득가능성 |
|-----------------|---|----------------------------------|--------------|
| 기본맵 | 서울시 수치지도 | 서울시 | 공식 절차 필요 |
| 교통사고 | 2010년 교통사고 유형별 데이터 | 교통사고분석시스템(TAAS) | × |
| 인구 통계 | 행정구역 면적, 인구(연령별, 성별), 총 가구수, 총 종사자수, 전입인구비율(%) 등 | 서울시 동별 통계 (서울시 홈페이지) | 홈페이지 다운로드 |
| 교통 및 도로 시설물 | 교차로, 횡단보도, 신호등, 어린이보호구역 등 | 서울시 교통안전시설물정보 | 공식 절차 필요 |
| | 지하철역수 | KOTI 교통주제도 | 홈페이지 다운로드 |
| | 버스정류장수 | 서울시 TOPIS 홈페이지 (서울시 인가버스에 한함) | 홈페이지 다운로드 |
| 도 로 기 하 구 조 | 도로등급, 규모, 제한속도별 도로연장/면적 | GIS분석을 통해 서울시 수치지도에서 추출 | - |
| | 6차로와 1차로, 8차로와 1차로, 10차로와 1차로 또는 2차로 도로의 접속지점수 | | |
| | 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수 | | |
| 주요 시설물 | 초등학교, 중학교, 초등학교, 유치원 어린이집, 병원, 종사자 1,000인 이상 기업, 코스닥 상장 기업 등 | 민간정보개방(Biz-GIS) (한국공간정보유통센터) | 홈페이지 다운로드 |
| 사회 경제적 지표 | 평균공시지가(원) | 부동산공시가격 알리미 | × |
| | 해당 동에 종사하는 직장인 수(인) | 서울시 동별 통계 | 홈페이지 다운로드 |
| | 아파트 비율(%) | 서울시 동별 통계 | |
| | 평균가구소득(10분위) | 민간정보개방(Biz-GIS) (한국공간정보유통센터) | |
| | 토지이용별 면적 및 연상면적 | 토지이용피복도 및 건물통합정보 (국토해양부) | |
| | 대규모 판매시설 | 서울시 동별 통계 | |
| | 기초생활수급가구 또는 수급자 비율(%) | | |
| 교통량 및 통행 ('10년) | 수단(자동차, 택시, 버스)별 발생/유입/내부 교통량(대/일) (or 발생통행, trip/일) | KTDB | - |
| | 차량주행거리(VKT) | 교통수요분석 | - |

주. 구득가능성 ‘×’는 홈페이지 열람은 가능하나 전 지역의 데이터를 일괄적으로 받을 수는 없음을 의미

제3절 기초통계분석

1. 종속변수

종속변수의 기초통계량은 <표 4-7>과 같다. TAZ별 차대차 사고는 연평균 56.2건이 발생하며, 보행자-차량사고는 22.4건, 차량단독사고는 2.6건이 발생하는 것으로 나타났다. 자동차 관련 총 교통사고의 최대값에 해당하는 TAZ의 경우 일평균 1.4건의 유형별 교통사고가 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나 차량단독사고의 경우 평균값이 2.6건으로 상대적으로 매우 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

<표 4-7> 종속변수의 기초통계량 (N=423)

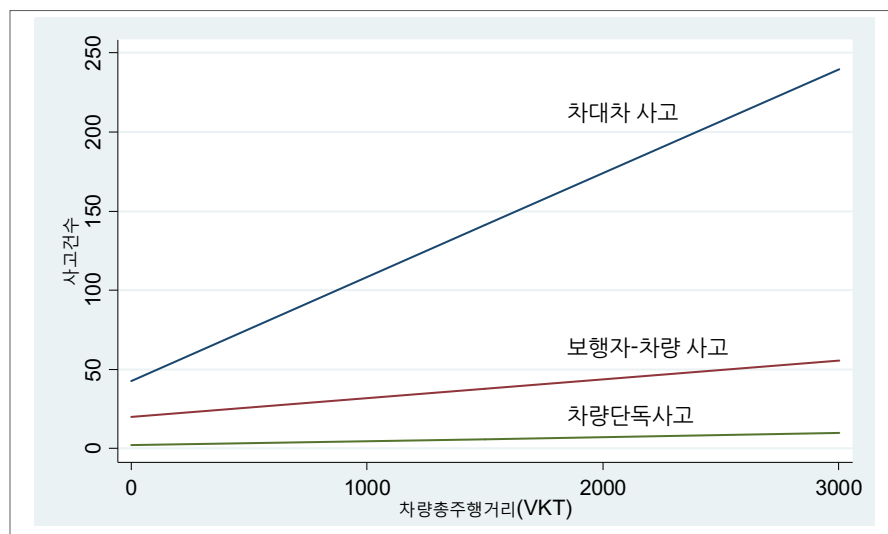
| 종속변수 | 사건 수 | 평균 | 표준 편차 | 최소값 | | | 최대값 |
|-------------|--------|------|-------|-----|------|-------|-----|
| | | | | 관측값 | TAZ수 | 비율 | |
| 차대차 사고 | 23,870 | 56.2 | 45.1 | 0 | 1 | 0.2% | 384 |
| | | | | 1 | 2 | 0.5% | |
| 보행자-차량사고 | 9,487 | 22.4 | 16.8 | 0 | 3 | 0.7% | 133 |
| | | | | 1 | 2 | 0.5% | |
| 차량단독사고 | 1,069 | 2.6 | 2.4 | 0 | 75 | 17.7% | 15 |
| | | | | 1 | 95 | 22.5% | |
| 자동차 관련 교통사고 | 34,337 | 81.2 | 60.7 | 0 | 1 | 0.2% | 521 |
| | | | | 1 | 2 | 0.5% | |

교통사고의 공간분석모형은 Log-linear형태의 함수를 활용하므로 1의 값을 갖는 TAZ의 종속변수 값은 로그를 취했을 때 0이 되고, 0의 값을 갖는 TAZ의 종속변수 값에는 로그를 취할 수 없어 전체 관측치 개수가 줄어들게 된다. 따라서 각 사고유형별로 관측치가 0과 1인 TAZ가 몇 개인지 파악할 필요가 있다. Wier 외(2009)의 연구에 따르면 관측치가 0인 TAZ⁴⁵⁾에 최소값인 1을 적용하여 로그를 취한 값이 0이 되도록 하였다.

그러나 이 경우 관측치가 1인 TAZ와 0인 TAZ가 로그를 취했을 때 모두 동일한 0의 값을 갖게 되는 문제가 발생한다. 사고건수가 0인 TAZ와 1건인 TAZ의 교통안전은 상당한 차이가 있을 수 있기 때문이다.

이에 본 연구에서는 차대차 사고의 경우 0값을 갖는 TAZ가 1개, 보행자-차량사고의 경우에는 3개 이므로 이를 제외하고 분석을 수행하였다. 다만 차량단독사고의 경우 사고건수가 0인 TAZ가 전체의 18%, 1건인 TAZ가 22.5%를 차지하고 있으므로 공간분석모형 적용의 합리성에 대해 검토하였다.

<그림 4-5>와 같이 VKT 증가에 따른 유형별 사고건수의 기울기 변화를 살펴본 결과 VKT 증가시 차대차 사고의 증가율이 가장 큰 것으로 나타났다.



〈그림 4-5〉 유형별 사고건수와 VKT간의 관계 검토

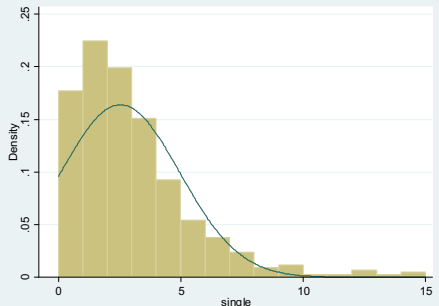
2. 차량단독사고에 대한 모형 적용의 합리성 검토

차량단독사고의 경우 전체 423개 TAZ 중 사고가 없는 TAZ가 75개로

45) 전체 176개 공간단위 중 3개의 사고건수가 0임

전체 TAZ의 17.7%를 차지하고 있어 이를 종속변수로 하는 공간모형 설정시 오류 가능성에 대해 검토하였다.

<표 4-8> 차량단독사고건수 통계량

| 차량단독사고 | TAZ수 | TAZ비율(%) | 히스토그램 |
|----------|------------|----------|--|
| 0 | 75 | 17.7 |  |
| 1 | 95 | 22.5 | |
| 2 | 84 | 19.9 | |
| 3 | 64 | 15.1 | |
| 4 | 39 | 9.2 | |
| 5~10 | 59 | 14 | |
| 11~15 | 7 | 1.6 | |
| 합계 | 423 | 100 | |
| 평균(표준편차) | 2.53(2.44) | | |

전체 TAZ에서의 차량단독사고를 공간모형으로 모형화할 경우 전체 TAZ의 40%가 0의 값을 갖게 되어 분석모형의 결과를 신뢰하기 어려울 것으로 판단된다.⁴⁶⁾ Quddus(2008)에 따르면, 사망사고나 차량단독사고 등과 같이 상대적으로 작은 값을 갖는 경우 가산데이터의 정수형태(integer structure)를 그대로 유지하는 것이 중요하다고 제시하였다⁴⁷⁾. 왜냐하면 심각한 부상사고에 대한 공간모형(SEM)에서 잘못된 설명변수가 통계적으로 유의하게 나타났기 때문이다. 따라서 상대적으로 작은 값의 이산

46) Quddus(2008)는 사고모형 설정시 일반적으로 종속변수에 로그를 취하게 되기 때문에 0의 값을 갖는 사고건수를 포함하는 모형은 분석에서 제외하고 이외 사고건수에 대해 log-linear 모형을 설정하였다.

47) 가산모형에서는 정수형태 유지가 가능하나, 공간모형 적용시 로그변환을 통해 이산변수가 연속변수로 수정되므로 이 경우 설명변수의 통계적 유의성이 잘못 나타날 수 있다는 것이다. Quddus(2008)의 연구에서 심각한 부상사고의 평균값은 26.8건으로 가벼운 부상사고의 평균값 180건에 비해 상대적으로 낮는데 심각한 부상사고를 종속변수로 하는 NB모형과 공간오차모형에서 평균속도(km/h)의 증가시 심각한 부상사고가 감소하는 것으로 나타났기 때문이다.

변수(discrete count variable)를 연속변수(continuous variable)로 변환하는 것이 적절치 않을 수 있다고 제시하였다.

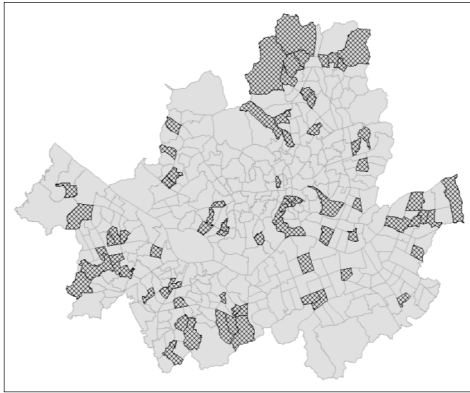
또한 선행연구를 살펴보면 일반적으로 교통사고모형을 심각도별로 모형화할 때 사망사고와 같이 0의 값을 갖는 TAZ가 많은 경우 이를 심각한 부상사고와 묶어서 종속변수로 활용하거나 0의 값을 고려할 수 있는 가산모형⁴⁸⁾을 고려하였다. 그러나 차량단독사고의 경우 차대차 사고나 보-차사고와는 공간적 영향요인이 다를 것으로 판단되어 본 연구에서는 유형별 교통사고모형을 차대차 사고 모형, 보-차사고 모형, 자동차 관련 교통사고 모형으로 설정하였다.⁴⁹⁾

차량단독사고가 발생하지 않은 TAZ와 한건 발생한 TAZ의 공간적 위치를 비교한 결과, 이들 TAZ는 서울시내에서 무작위로 나타났다. 차량단독사고⁵⁰⁾는 주로 새벽시간(오전 4~6시)에 발생하며, 65세 고령운전자의 비율이 13.7%로 그 외 연령대(10.7%) 보다 높고, 직선구간보다 커브길인 경우가 많으며, 그 원인으로는 충돌, 가해자 불명, 비래/낙하물, 전도 또는 전복, 도로 이탈 등이 있다.

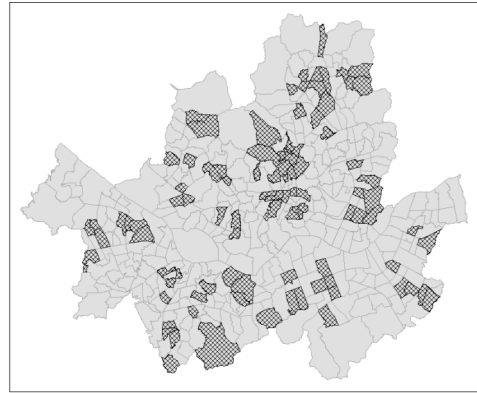
48) 차량단독사고와 같이 0값을 갖는 TAZ가 많은 사고에 대해서는 Zero-Inflated Negative Binomial (ZINB) 또는 Poisson(ZIP)모형과 같이 데이터 특성을 고려한 모형을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 이를 향후 연구과제로 남겨둔다.

49) 다만, 본 연구에서는 사고건수가 0인 TAZ 처리의 포함 여부에 따라 차량단독사고모형의 설명력 및 계수값의 변화가 크게 나타나 본 연구에서는 제외하였다.

50) 삼성교통안전문화연구소의 차량단독사고 특성분석(2015) 및 교통안전 Brief 제7호('10.10)



〈그림 4-6〉 사고가 발생하지 않은
TAZ의 공간적 위치



〈그림 4-7〉 1건 발생한 TAZ의 공간적 위치

3. 독립변수⁵¹⁾

독립변수의 기초통계량은 <표 4-9>와 같다. 서울시의 TAZ별 인구환경을 살펴보면, 내곡동의 행정구역면적이 12.69km²로 가장 넓고, 송인제1동과 창신제3동이 가장 적은 것으로 나타났다. 또한 TAZ별 평균 인구밀도는 25,518인/km²이고, 평균 종사자수는 일만명 수준이며, 전입인구비율이 전체 인구의 62.7%인 TAZ도 있는 것으로 나타났다. 65세 이상 인구비율은 평균 10%인 것으로 나타났으며, 65세 이상 고령인구가 차지하는 비율이 7% 이상인 TAZ⁵²⁾는 전체 423개 TAZ의 91%인 385개, 14%이상인 TAZ⁵³⁾는 5% 수준으로 나타났다. 이와 같은 인구환경 특성을 볼 때 향후 교통안전정책을 수립시 반드시 고령화인구에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

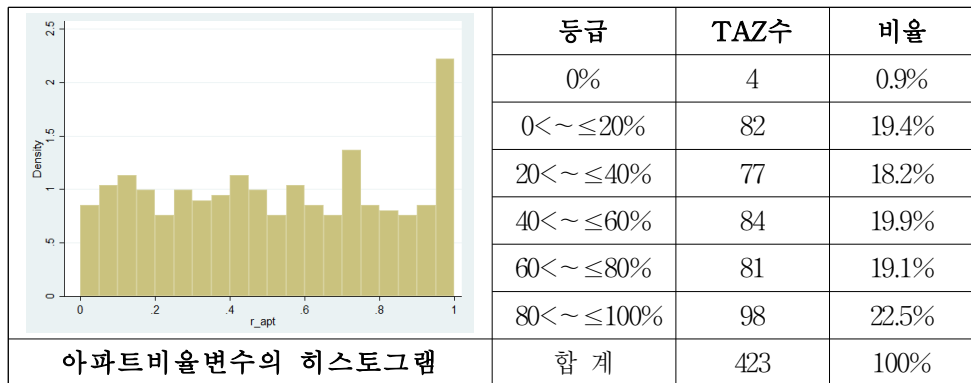
도시환경을 나타내는 서울시내 TAZ의 전체 주택면적 중 아파트면적비율은 평균 52%인데, 히스토그램을 살펴본 결과, <그림 4-8>과 같이 정규성을 띄지 않고 퍼센트비율별로 해당하는 TAZ수가 유사하게 나타나

51) 독립변수간 상관분석 결과는 부록 참조

52) 고령화사회(Aging Society)에 해당

53) 고령사회(Aged Society)에 해당

분석모형에 포함시킬 때 변환이 필요할 것으로 판단된다.



〈그림 4-8〉 아파트비율변수의 히스토그램 검토

TAZ의 월평균 가구소득은 10분위 중 4.3분위⁵⁴⁾이고, 토지이용 다양성지표는 0.33으로 나타났다. 또한 토지이용용도를 TAZ단위로 살펴보면 주거용도가 74.7%, 상업지역이 21.9%로 95% 이상을 차지하는 것으로 나타난 반면, 녹지나 공업지역은 미미한 수준으로 나타났다.

도로환경의 경우 제한속도별 도로연장을 비교해본 결과, 제한속도가 60km/h인 도로연장이 TAZ 전체 도로연장의 42.9%, 제한속도가 30km/h인 도로연장이 35%, 50km/h인 도로연장이 15%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수는 예를 들어 제한속도가 50km/h인 도로와 80km/h인 도로간 접속지점수, 또는 30km/h인 도로와 80km/h인 도로간의 접속지점 수를 의미한다. TAZ별로 평균 4.2개의 접속지점이 있는 것으로 나타났으며, 많은 경우 접속지점수가 85개인 TAZ도 존재했다.

교통환경변수로는 주로 교차로나 횡단보도, 어린이보호구역 수, 버스정류장 등의 시설물 개수를 살펴보았으며, TAZ별로 평균 22개의 버스정류장과 0.7개의 지하철역, 76개의 횡단보도를 가지고 있는 것으로 나타났다. TAZ별 차량총주행거리는 평균 100,747대·km로 나타났다.

54) 월평균 가구소득의 10분위 표는 부록 참조

<표 4-9> 독립변수의 기초통계량

| 구분 | 설명 | 평균 | 표준편차 | 최소값 | 최대값 |
|----------------|------------------------------|-----------|-----------|--------|-----------|
| 인구 환경 변수 | 행정구역 면적(km ²) | 1.43 | 1.59 | 0.23 | 12.69 |
| | 총 가구수(세대수) | 8,269 | 3,101 | 274 | 18924 |
| | 총 종사자수(인) | 10,679 | 16,168 | 700 | 141,960 |
| | 종사자밀도(인/km ² , B) | 9,244 | 10,792 | 278 | 90,270 |
| | 인구밀도(인/km ² , A) | 25,518 | 12,746 | 480 | 64,711 |
| | 인구 대비 종사자 비(A/B) | 66.8 | 244.8 | 4.40 | 3992.35 |
| | 인구(인) | 23,121 | 8,598 | 809 | 49,837 |
| | 15세 미만 인구비율(%) | 13.68 | 2.83 | 5.41 | 21.73 |
| | 15~64세 인구비율(%) | 76.32 | 2.88 | 69.35 | 88.43 |
| | 65세 이상 인구비율(%) | 10.00 | 2.25 | 5.11 | 17.79 |
| | 남성비율(%) | 49.13 | 1.70 | 42.37 | 60.52 |
| | 인구 대비 전입인구 비율(%) | 17.97 | 5.00 | 10.52 | 62.66 |
| | 기초생활수급자 비율(%) | 1.67 | 2.15 | 0 | 19.54 |
| | 기초생활수급자 비율(%) | 1.67 | 2.15 | 0 | 19.54 |
| 도시 환경 변수 | 평균공시지가(원/m ²) | 2,720,539 | 1,860,674 | 41,039 | 1.70E+07 |
| | 해당 동에 종사하는 직장인 수(인) | 9,139 | 13,875 | 32 | 126,708 |
| | 총 주택면적 중 아파트면적비율(%) | 52.4 | 30.4 | 0 | 100 |
| | 월평균 가구소득(10분위) | 4,367,667 | 1,287,972 | 2.5 | 8.74 |
| | 주거지역 면적(m ²) | 413,983 | 227,023 | 6,108 | 1,555,612 |
| | 공업지역 면적(m ²) | 3,250 | 61,914 | 0 | 1,269,268 |
| | 상업지역 면적(m ²) | 121,515 | 139,079 | 0 | 1,041,651 |
| | 토지이용 다양성지표 | 0.33 | 0.05 | 0.10 | 0.63 |
| | 초등학교수 | 1.39 | 1.00 | 0 | 6 |
| | 중학교수 | 0.90 | 0.90 | 0 | 5 |
| | 고등학교수 | 0.75 | 1.01 | 0 | 7 |
| | 유치원수 | 2.00 | 1.53 | 0 | 8 |
| | 어린이집수 | 14.24 | 10.59 | 0 | 94 |
| | 병원 수 | 13.37 | 10.24 | 0 | 68 |
| | 종사자 1,000인 이상 기업수 | 1.22 | 4.99 | 0 | 49 |
| | 종사자 1,000인 이상 기업수 | 1.22 | 4.99 | 0 | 49 |
| 도시 환경 변수 | 도로연장(m) | 8,957 | 6,432 | 3,756 | 49,637 |
| | 도로면적(m ²) | 31,960 | 23,325 | 7,307 | 193,385 |
| | 제한속도 30km/h인 도로연장(m) | 2,461 | 1,915 | 0 | 13,521 |
| | 제한속도 50km/h인 도로연장(m) | 1,054 | 2,010 | 0 | 11,828 |
| | 제한속도 60km/h인 도로연장(m) | 3,020 | 2,314 | 0 | 18,340 |
| | 제한속도 70km/h인 도로연장(m) | 439 | 1,048 | 0 | 6,790 |
| | 제한속도 80km/h인 도로연장(m) | 1,054 | 2,010 | 0 | 11,828 |
| 교통 환경 변수 | PSL차이 30km/h이상인 도로간 접속지점수 | 4.2 | 10.9 | 0 | 85 |
| | 교차로 수 | 14.5 | 9.3 | 0 | 87 |
| | 횡단보도수 | 76.1 | 49.3 | 1 | 359 |
| | 신호등수 | 59.0 | 41.2 | 0 | 373 |
| | 어린이보호구역수 | 2.4 | 1.6 | 0 | 8 |
| | 노인보호구역수 | 0.007 | 0.15 | 0 | 3 |
| | 지하철역수 | 0.7 | 0.8 | 0 | 5 |
| | 버스정류장수 | 22 | 13 | 0 | 81 |
| | 2010년 총차량주행거리(대 · km) | 100,747 | 124,422 | 1,069 | 1,081,564 |

제5장 교통사고 발생 특성 분석 결과

제1절 공간적 자기상관성 검정

1. 공간가중치행렬 설정

본 연구⁵⁵⁾에서는 분석에 사용할 공간가중치 행렬을 설정하기 위해 우선 GIS 분석 틀에서 제공하는 인접성 기반의 ROOK방식과 QUEEN방식, 거리 기반의 역수 및 제곱의 역수 등을 이용하여 가중치행렬을 생성하고, 공간가중치별로 종속변수의 공간상관성을 판단하였다. 공간분석모형의 기반이 되는 공간가중치의 설정에 대해 이희연 외(2013)는 가장 적합한 공간 가중치 행렬을 선택하는 통계적인 검정방법은 없기 때문에 모형 분석을 반복하여 수행하면서 최적의 가중치 행렬을 선택하는 실험적 절차를 따르도록 제안하고 있다.

이에 본 연구에서는 <표 5-1>과 같이 다양한 가중치를 토대로 종속변수에 대한 Moran's I를 분석한 결과, ROOK 방식의 인접성 가중치가 교통사고 발생의 공간적 상관성을 가장 잘 나타내었다. 또한 실제 공간단위에서 수집된 데이터를 분석할 때 ROOK 방식의 인접성 가중치가 보편적으로 사용(Anselin, 2003; 이성우, 2006; 정건섭, 2012)⁵⁶⁾되므로 본

55) 분석 결과를 제시하기 전에 두 가지 사항을 밝히고자 한다.

첫째, 본 연구에서 최종적으로 제시하는 서울시 교통사고 유형별 분석모형은 사고발생특성을 설명하기 위한 설명모형이므로 통계적으로 유의하지 않은 변수는 분석에서 제외하고 모형을 최적화하였다. 설명모형과 달리 예측모형에서는 연구자가 설정한 통계적 유의수준을 충족하지 않은 변수를 최종 모형에 포함시키는 경우가 있으므로 이를 밝힌다.

둘째, 본 연구에서는 오차항과 시차항을 모두 고려하는 일반공간모형(SAC; general spatial model)을 분석체계에 포함시켰으나, 분석 결과, 모든 사고 유형에서 공간시차항의 계수가 통계적으로 유의하지 않게 나타나 일반공간모형을 분석할 의의가 사라져 본 논문에는 수록하지 않았음을 밝힌다.

56) 이성우(2006)에 따르면 공간시차변수($W_1 Y$)를 생성하는데 필요한 공간가중치(W_1)로서 주로 표준화된 ROOK 인접성 행렬이 사용된다.

연구에서는 ROOK 방식으로 생성된 가중치를 기본 가중치로 활용하여 공간계량분석을 시행하였다.

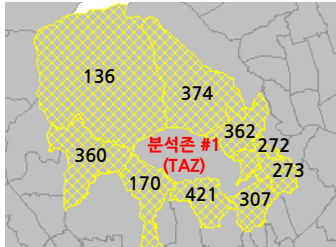
<표 5-1> 공간가중치 생성방법 선정

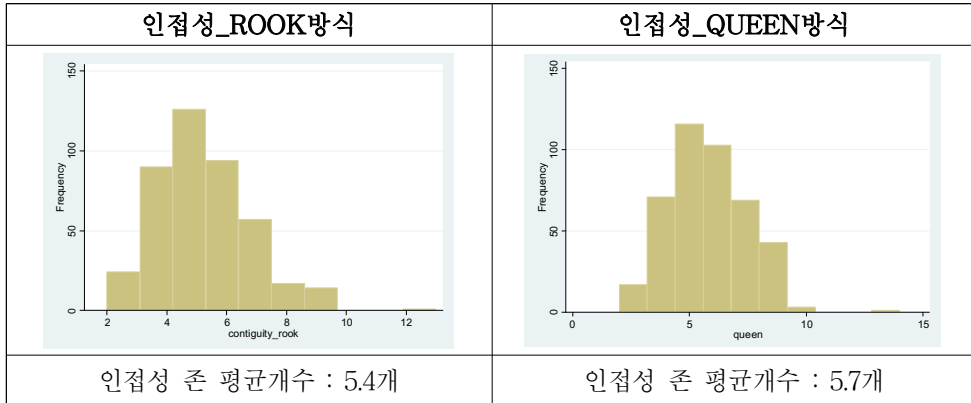
| 가중치 생성 | | 사고유형 | Moran's I | Z값 | 선정결과 |
|--------|-----------------|--------|-----------|------|------|
| 기준 | 방법 | | | | |
| 인접성 | ROOK | 차대차 | 0.24 | 8.24 | ○ |
| | | 보행자-차량 | 0.18 | 5.22 | |
| | | 차량단독 | 0.15 | 5.74 | |
| | | 총 사고건수 | 0.17 | 7.26 | |
| | QUEEN | 차대차 | 0.23 | 8.22 | - |
| | | 보행자-차량 | 0.13 | 4.79 | |
| | | 차량단독 | 0.17 | 5.86 | |
| | | 총 사고건수 | 0.19 | 7.11 | |
| 거리 | 역수 ² | 차대차 | 0.19 | 7.83 | - |
| | | 보행자-차량 | 0.10 | 4.15 | |
| | | 차량단독 | 0.10 | 4.33 | |
| | | 총 사고건수 | 0.16 | 6.61 | |

주 : 모든 유형의 사고건수는 자전거 관련 사고가 제외된 수임

<표 5-2>와 같이 GIS TOOL를 통해 생성한 인접성 기반의 ROOK와 QUEEN의 인접성을 가지는 TAZ를 실제로 확인하였다. 그 결과, <그림 5-1>과 같이 서울시의 경우 행정동의 경계가 대부분 부정형으로 ROOK 방식(변이 인접한 경우 가중치 부여)과 QUEEN(변과 모서리가 인접한 경우 가중치 부여)방식의 경우 인접성 준으로 분류된 준의 개수가 비슷하게 나타났다. 이로 인해 <표 5-1>에서 ROOK방식과 QUEEN방식의 Moran's I값이 유사하게 나타난 것으로 판단된다.

<표 5-2> GIS TOOL(GeoDa)에서 생성한 가중치 행렬 확인

| 1번 TAZ의 인접성 준 현황 | 행렬 구성 |
|---|--|
|  | 1 9 |
| | 421 374 362 360 307 272 170 136 273 |
| | - 1행의 '1'은 분석존의 번호, '9'는 인접 준의 개수를 나타냄 |
| | - 2행은 인접존의 번호를 나타냄 - 모형분석시에는 행표준화한 값 적용 |



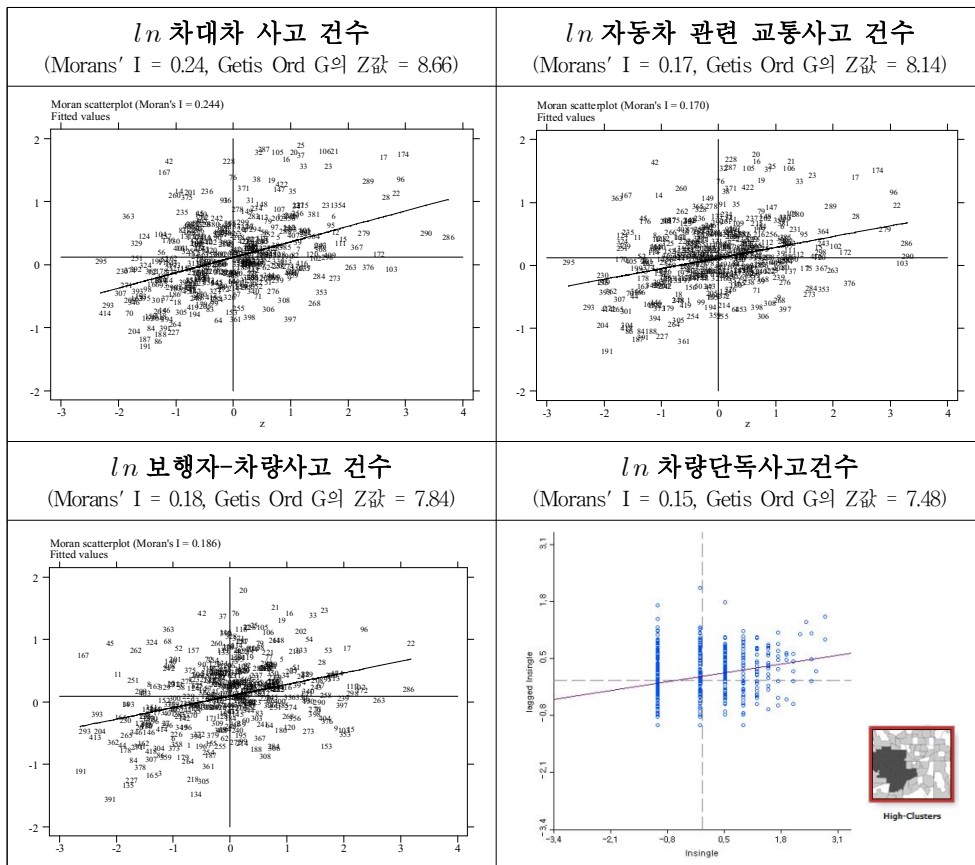
〈그림 5-1〉 인접성 방식에 따른 인접존 개수의 히스토그램 비교

2. 전역적 자기상관성

상기 <표 5-2>에서 ROOK방식의 인접성 가중치를 활용하여 유형별 교통사고에 대한 전역적 공간상관성을 판단한 결과, Moran's I 값이 0.2보다 크거나 0.2에 가까워 공간적 자기상관성이 존재하는 것으로 나타났으며, 이 경우 OLS의 기본가정인 오차항의 독립성 가정을 위배하므로 공간분석이 필요하다고 말할 수 있다. 교통사고 관련 선행연구와 비교할 때 서울시 총 교통사고건수를 대상으로 한 홍지연(2013)과 정보미 외(2015)의 연구에서 Moran's I⁵⁷⁾는 각각 0.20과 0.19로 나타났으며, 공간적 종속성이 없다는 귀무가설을 기각함으로써 공간분석의 필요성을 제시하였다. 또한 플로리다 보행자사고를 대상으로 한 Siddiqui 외(2012)의 연구에서도 Moran's I는 0.22 수준으로 공간상관성이 나타났다고 판단하였다. 다만, 교통사고 이외의 분야에서는 공간적 상관성이 상당히 높게 나타났는데, 행정동 단위로 집계된 서울시 아파트 매매가격의 Morna's I는 0.68, 전세가격은 0.72(김소연, 2012), 부산의 동별 평균 주택 매매가격의 Morna's I는 0.34(정건섭, 2012)로 분석되었다.

57) 이때 Moran's I는 로그를 취한 총 교통사고건수에 대한 값이다.

모든 유형의 종속변수가 유의한 수준에서 공간시차변수와 관계에서 양(+)의 관계를 나타내었다. <그림 5-2>는 종속변수(Y)와 공간시차변수($W_1 Y$)간 산점도를 나타낸 것으로 x 축은 자연로그를 취한 사고건수(Y)를 나타내며, y 축은 공간가중행렬로 산출된 인접지역들의 영향력에 의해 가중 평균된 $W_1 Y$ 이다. 산점도의 1사분면은 높은 값끼리, 3사분면은 낮은 값끼리 군집되어 있음을 나타낸다. Moran' I 값은 모두 신뢰수준 99%에서 유의한 값으로 귀무가설(H_0 : 공간적 종속성 없음)을 기각하였고, 모든 사고 유형에서 Getis Ord G의 Z값이 신뢰수준 99%에서 통계적으로 유의한데 이는 높은 종속성을 가진 지역(High cluster)은 우연하게 나타난 것이 아님(우연하게 나타날 가능성이 1%보다 적음)을 의미한다.



〈그림 5-2〉 종속변수($\ln Y$)와 공간시차변수($W_1 \ln Y$)간 산점도

3. 국지적 공간 상관성

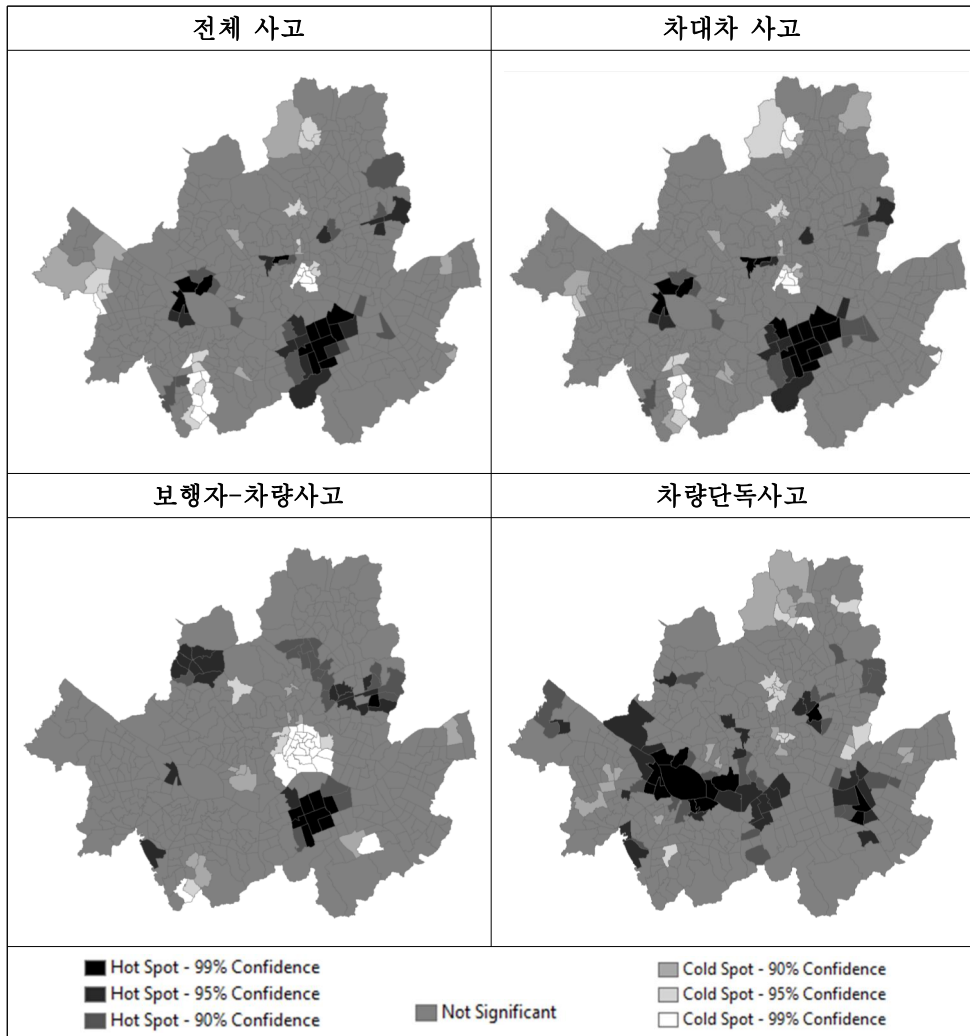
서울시 교통사고의 국지적 공간 상관성을 살펴본 결과, 사고모형 중 차대차 사고 및 자동차 관련 사고모형에서 국지적 공간 상관성을 가진 지역이 많이 나타났다. 즉, 일부지역(진한 색으로 표시된 지역)의 경우 교통사고가 많이 발생한 지역의 주변 지역 역시 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 사고가 상대적으로 덜 발생한 지역의 경우 주변 지역에서 역시 사고가 많이 발생하지 않는 공간적 군집형태가 나타남을 알 수 있다.

자동차 관련 전체 교통사고에 대한 국지적 자기상관성 측정시 서초 및 강남 일대, 금천, 은평, 동대문, 중랑, 강북구 등의 지역이 HH 상관성을 가지는 것으로 나타났고, 역시 강남서초 일대, 종로 및 성북 일대, 강동구, 중구, 성동구 일부는 LL 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 차대차 사고의 경우 자동차 관련 총 교통사고와 거의 유사한 패턴을 보이나, HH, LL 패턴의 지역 모두 자동차 관련 총 교통사고보다 증가하였다. 그러나 차대사람 및 차량단독사고의 경우 전혀 다른 국지적 상관성이 나타났다. 차량단독사고의 경우 경우 높은 국지적 상관성을 보이는 지역이 더 넓게 분포하고 있는데 도심지역은 HH 패턴이, 도심 외곽지역은 LL패턴이 나타나고 있다. 보행자-차량사고의 경우 주로 강남, 영등포의 부도심 지역에서 HH 패턴이 우세하게 나타나 TAZ별 직장인수와 비교해보니 직장인수가 많은 지역⁵⁸⁾에서 HH 패턴이 발생함을 추론할 수 있었다.

전역적 Moran's I를 사용할 경우 또는 전체 교통사고건수만을 종속 변수로 고려할 경우 이러한 사고유형별 발생특징이 국지적으로 어떻게 변화하는지 알기 어렵다는 점에서 국지적 상관성 검토의 의의가 있다고 하겠다. 또한 유형별 교통사고 자료가 공간적 상관성을 가지고 있는 것으로 검증되어 OLS의 '오차의 독립성' 가정을 충족시키지 못하므로 공간 계량경제(Spatial econometrics)를 활용해야 함을 확인하였다.

58) 지역내 유동인구가 많은 지역으로 해석할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 5-3> 사고유형별 Hot/Cold SPOT 분석(Getis-Ord Gi*)



주 : 모든 유형의 사고건수는 자전거와 관련 사고가 제외된 수치임


제2절 전역적 공간모형 분석

1. 차대차 사고 모형

1) 변수의 설정

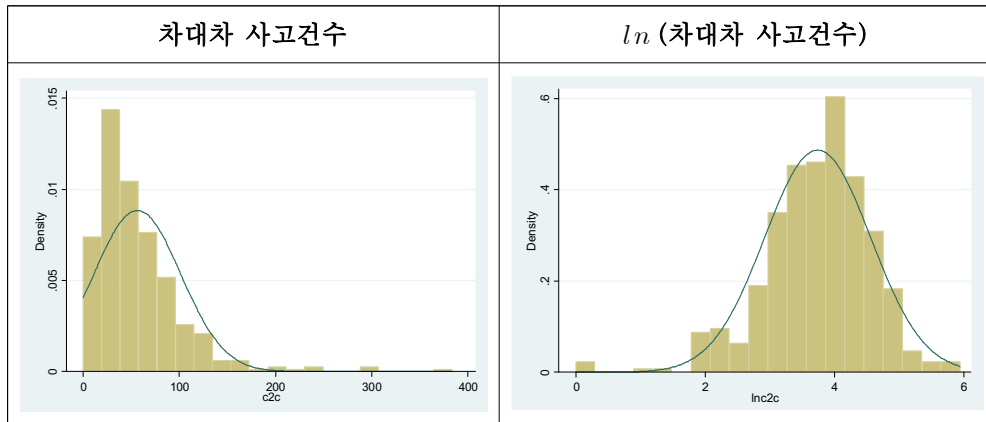
차대차 사고의 경우 사고건수가 0으로 종속변수에 로그를 취할 수 없는 TAZ(1개)를 제외하여 종속변수를 설정하고, 이에 대한 공간적 위치와 주요 속성을 살펴보았다. 왜냐하면 이 값이 종속변수에 미치는 영향이 크기 때문에 영향치(Influential Values)인지 이상치(outlier)인지를 판단해야 하기 때문이다. 사고건수가 0인 TAZ의 경우 전체 TAZ에 비해 종사자수가 적은 반면, 총차량주행거리(VKT)는 더 높게 나타났다.

<표 5-4> 차대차 사고가 0건인 TAZ 검토

| 사고건수가 0건인 TAZ의 지리적 위치 | 사고건수 0건인 TAZ의 속성 검토 | | |
|--|---|------------|------------|
|  | <ul style="list-style-type: none"> • 보고된 사고건수가 0인 TAZ는 관악구 신사동임 <p><주요 속성의 평균값(mean) 비교></p> | | |
| | 구분 | 해당 TAZ | 전체 TAZ |
| | 종사자밀도(인/㎡) | 6,863 | 9,227 |
| | PSL별 도로연장비율(%)(30km/h, 60km/h) | 0.29, 0.21 | 0.31, 0.17 |
| | lnVKT | 5.33 | 4.95 |
| | 버스전용차로연장비율(%) | 0 | 0.09 |

모형 분석에 사용된 변수의 형태를 결정하기 위해 히스토그램을 통해 변수의 정규성을 확인하는 작업을 수행하였다. 종속변수는 로그를 취하여 정규성을 보완하였다.⁵⁹⁾

59) 가산자료의 데이터변환(transformation)에는 다양한 방법이 있으나, 본 연구에서는 교통사고 관련 선행연구에서와 마찬가지로 사고데이터의 비정규성 문제를 개선하기 위해 로그를 취하였다.



〈그림 5-3〉 차대차 사고 변수의 히스토그램 검토

차대차 사고의 가장 큰 원인은 사고시점에서의 앞차와 뒷차간 자극과 반응이고 차량 운전자간의 자극과 반응은 주변의 공간적 영향에 의해 결정된다는 가정 하에 모형을 분석하였다. 그 결과, 총 10개의 설명변수가 차대차 사고를 통계적으로 유의하게 설명하는 것으로 나타났다.

인구 환경변수에는 인구수 대비 종사자수 변수만이 포함되었는데, 대수 변환을 통해 정규성을 보완하였다. 인구 및 종사자수의 경우 선행연구에서도 주로 대수를 취하였다⁶⁰⁾.

선행연구에서 사용한 어린이보호구역(School-zone) 수와 달리 본 연구에서는 도시환경변수로 어린이집, 유치원, 초등학교 개수를 포함하였다. 왜냐하면 어린이보호구역은 도로교통법에서 정하는 일정 기준⁶¹⁾ 이상인 경우와 필요성이 인정될 경우에 설치되나 일정 기준에 미치지 못하고 필요성도 인정되지 않는 경우에도 교육기관 주변에서 어린이들은 통학로 이용 여부와 관계없이 차량과의 상충에 노출될 가능성이 높아지기 때문이다. 서

60) Quddus(2008)에 따르면 0값의 관측치가 없는 설명변수 중 일부에만 로그를 취하였다고 제시하고 있다.

61) 도로교통법 시행규칙 제14조(보육시설 및 학원의 범위)에 따르면 “행정자치부령이 정하는 보육시설”이란 정원 100명 이상의 보육시설을 말하며, 100명 미만인 보육시설에 대해서도 필요성이 인정될 경우 주변도로에 대해서도 어린이 보호구역의 지정이 가능하다.

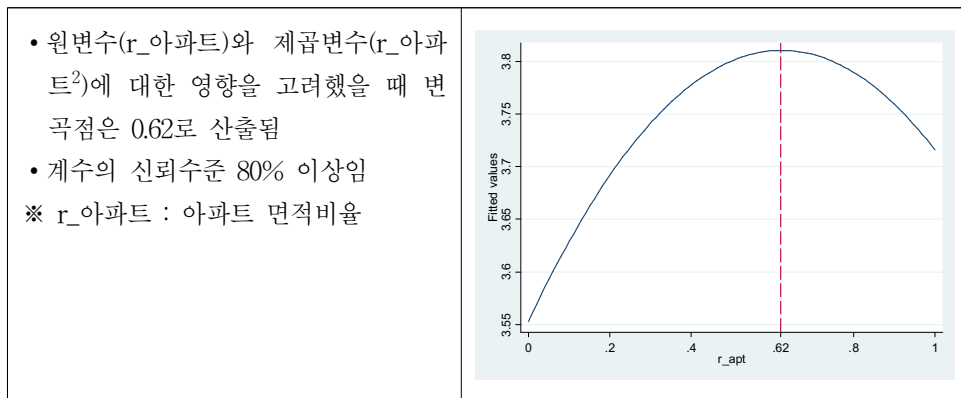
울시 TAZ별 어린이보호구역과 본 연구에서 사용한 영유아 및 초등교육기관 수는 8배 이상 차이가 나는 것으로 나타났다.

<표 5-5> 어린이보호구역과 영유아 및 초등교육기관간 기초통계량 비교

| 구분 | 평균 | 표준편차 | 최소 | 최대 |
|--------------|------|------|----|----|
| 어린이보호구역 수 | 2.4 | 1.6 | 0 | 8 |
| 영유아 및 초등교육기관 | 17.6 | 11.6 | 0 | 97 |

토지이용 다양성지표의 경우에는 지표 그대로 사용하는데 통계적으로 무리가 없었고, 아파트 면적비율변수를 그대로 모형에 포함할 경우 통계적 유의성이 나타나지 않았는데, 이는 종속변수와의 관계가 선형이 아니기 때문일 수 있다. 이에 아파트 면적비율변수의 이차항을 분석해 본 결과 <표 5-6>과 같이 예상대로 일정 수준이하에서는 사고를 증가시키고, 그 이상에서는 사고를 감소시키는 것으로 나타났다.

<표 5-6> 아파트 면적비율변수의 변곡점 분석



따라서 연속형 변수의 변화에 따른 사고 영향을 살펴보기 위해 아파트 면적비율변수를 비율에 따라 등간(interval)으로 구분하고 더미변수⁶²⁾화하여 적

62) 독립변수는 비율(ratio)변수일 때 가장 많은 속성정보를 가지고 있으므로 아파트면적비율

용해 본 결과, 일부구간에서만 통계적으로 유의성이 나타났으며, 사고유형에 따라 통계적으로 유의한 구간이 상이하게 나타났다.

도로환경변수에서 중앙버스전용차로 연장비율변수의 경우 0값을 갖는 TAZ가 전체의 47%로 많고 정규성을 확보하기 어려워 더미변수로 전환하였다. 아파트 면적비율변수와 마찬가지로 비율을 등간으로 구분한 더미변수를 모형에 적용시켜보았으나, 유무에 따른 더미변수만이 통계적으로 유의성을 갖는 것으로 나타났다. 이외 변수들은 가장 정규성을 확보한 형태로 모형에 적용하였고, 차량주행거리의 경우 선행연구에서와 마찬가지로 대수로 변환하여 포함하였다.

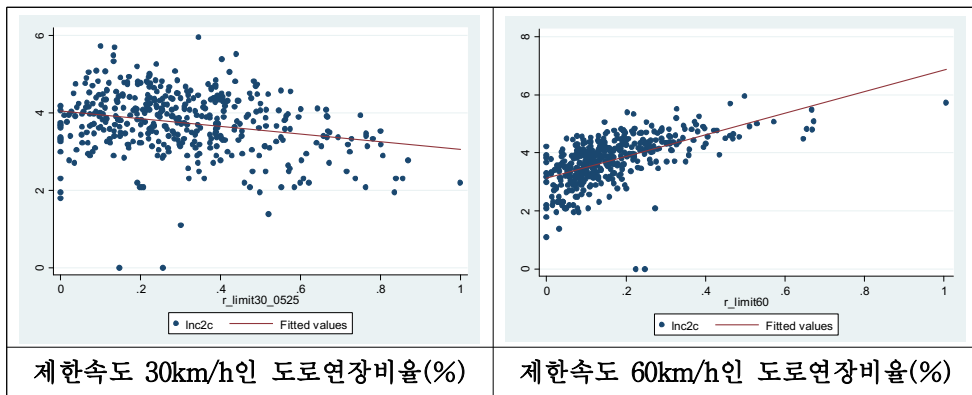
2) 기준모형 분석 및 진단

인구환경변수로는 인구 대비 종사자수가 많은 TAZ일수록 차대차 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 도시환경변수로는 학교수가 많을수록 토지이용의 다양성이 큰 TAZ일수록 차대차 사고가 증가하는 반면, 주택면적 중 아파트 면적비율이 70% 이상 80% 미만인 TAZ에서는 차대차 사고가 감소하는 것으로 나타났다.

도로환경변수에서는 총 도로연장 대비 제한속도가 30km/h인 도로연장 비율(%)이 높은 TAZ에서 차대차 사고가 감소하는 것으로 나타난 반면, 제한속도가 60km/h인 도로의 연장비율이 높은 TAZ에서는 차대차 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 <그림 5-4>에서 제시한 바와 같이 제한속도가 30km/h인 도로연장비율변수의 사고감소 영향보다 60km/h인 도로연장일 때의 증가폭이 크게 나타났다. 이는 우리나라 도시부 도로의 제한속도에 대한 OECD(2016)의 권고사항⁶³⁾과도 일맥상통하는 결과이다.

변수나 중앙버스전용차로 변수를 비율형태 그대로 활용할 수 있었다면 가장 바람직했을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 매우 중요하게 생각하는 변수들이기 때문에 변수 형태를 변형하여 모형에 포함시켰으며, 이로 인한 속성정보의 손실로 인해 사고에 대한 영향관계의 해석에 분명히 한계가 있음을 밝힌다.

63) OECD의 한국 도로안전에 관한 보고서(2016)에서는 국내 보행자 사망자수가 OECD평균에 비해 매우 높다고 지적하며, 도시내 제한속도를 50km/h 이하로 낮출 것을 권고하였다.



〈그림 5-4〉 제한속도별 연장에 따른 차대차 사고 영향 비교

또한 중앙버스전용차로가 있는 TAZ의 경우 중앙버스전용차로가 없는 TAZ에 비해 차대차 사고가 약 28% 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수가 증가할수록 도로의 합·분류로 인한 차량간 상충 가능성이 증가하므로 차대차 사고가 증가하는 것으로 나타났다.

교통환경변수에서는 노출변수인 차량 총통행거리와 버스정류장이 많은 TAZ에서 차대차 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 지하철역은 차대차 사고와 인과관계가 나타나지 않았고, 횡단보도 및 교차로의 경우 버스정류장, 버스전용차로 변수와 상관성이 높아 변수에서 제외하였다.

차대차 사고를 가장 크게 증가시키는 설명변수는 토지이용의 다양성변수이며, 가장 크게 감소시키는 변수는 제한속도가 30km/h이하인 도로연장비율로 나타났다.

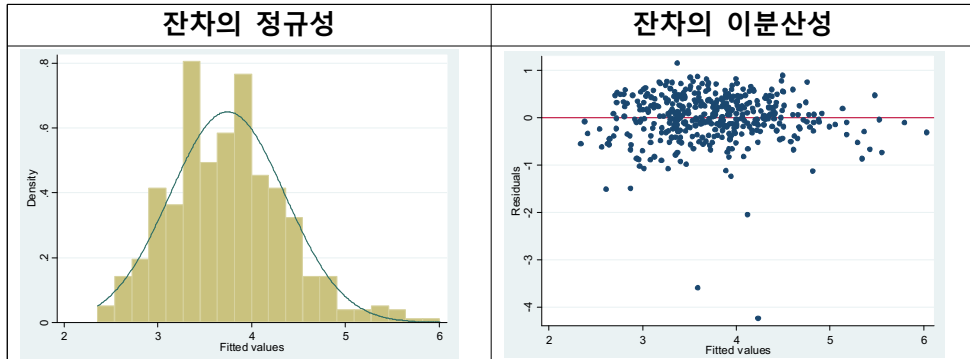
<표 5-7> 차대차 사고 기준모형(OLS) 분석 결과

| (종속변수 : ln차대차 사고) | | 계수 | Std.E | VIF |
|-------------------|---|-------------|-------|------|
| 상수 | | 2.140*** | 0.223 | - |
| 인구환경 | ln(종사자수/인구수) | 0.175*** | 0.031 | 1.61 |
| 도시환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.008*** | 0.002 | 1.26 |
| | 토지이용 다양성지표 | 1.110*** | 0.275 | 1.15 |
| | 주택 중 아파트 면적비율더미 (아파트비율이 70% 이상 80% 미만이면 1) | -0.230*** | 0.083 | 1.05 |
| 도로환경 | 제한속도(PSL) 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수 | 0.008*** | 0.003 | 1.54 |
| | PSL 30km/h인 도로연장비율(%) | -0.319** | 0.144 | 1.20 |
| | PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 0.846*** | 0.305 | 2.29 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미 (있으면 1, 없으면 0) | 0.247*** | 0.057 | 1.24 |
| 교통환경 | 버스정류장 수 | 0.012*** | 0.002 | 1.54 |
| | ln 차량주행거리(VKT) | 0.167*** | 0.040 | 1.9 |
| 모형 설명력 | TAZ ¹⁾ | 422 | | |
| | R ² (수정된 R ²) | 0.58 (0.57) | | |
| | Log likelihood | -321.978 | | |
| | AIC | 665.956 | | |

주 1) 차대차 사고가 발생하지 않은 1개의 TAZ를 제외하고 422개의 TAZ에 대해 분석을 수행하였음

2) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

상기에서 분석한 OLS의 결과를 신뢰할 수 있는지 살펴보기 위해 OLS 분석결과를 토대로 잔차분석을 수행하고 가우스-마코브 정리(Gauss - Markov theorem)에 따른 오차의 정규성(Normality), 오차의 등분산성(Homoscedasticity), 오차의 독립성(Independence)을 확보하였는지 검토하였다. 오차의 정규성에 대해서는 히스토그램을 통해 살펴본 결과 정규성을 띄고 있는 것으로 나타났다. 잔차에 대한 산점도를 확인한 결과 이분산성이 나타나 오차의 등분산성 가정을 충족하지 못한 것을 알 수 있다.



〈그림 5-5〉 차대차 사고 기준모형(OLS)의 잔차 분석

마지막으로 오차의 독립성 가정에 대한 충족 여부를 살펴보기 위해 설명변수 및 오차항에 대한 Moran's I값을 산정하여 공간적 종속성의 존재를 확인하였다. 그 결과, 기준모형의 오차에 공간적 종속성이 존재하는 것으로 나타났으며, 토지이용 다양성 지표와 총 도로연장 대비 제한속도가 30km/h인 도로연장비율(%) 변수가 비교적 높은 공간적 상관성을 나타내었으나, 아파트 면적비율더미는 공간적 상관성이 나타나지 않았다.

〈표 5-8〉 차대차 사고모형 변수의 공간적 상관성 분석 결과

| 모형 변수 | | Moran's I | Z-값 |
|-------|--|-----------|-------|
| 종속변수 | ln 차대차 사고 | 0.18 | 5.98 |
| 인구환경 | ln(종사자수/인구수) | 0.22 | 8.64 |
| 도시환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.17 | 5.70 |
| | 토지이용 다양성지표 | 0.38 | 12.71 |
| | 아파트 면적비율더미 (아파트비율이 70% 이상 80% 미만이면 1) | 0.02 | 0.74 |
| 도로환경 | 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수 | 0.19 | 6.60 |
| | TAZ내 도로연장 대비 PSL이 30km/h인 도로연장비율(%) | 0.33 | 11.24 |
| | TAZ내 도로연장 대비 PSL이 60km/h인 도로연장비율(%) | 0.22 | 7.65 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미(있으면 1, 없으면 0) | 0.28 | 9.35 |
| 교통환경 | 버스정류장 수 | 0.14 | 4.69 |
| | ln 차량주행거리(VKT) | 0.25 | 8.34 |
| 오차 | | 0.14 | 4.83 |

주 : 공간가중치행렬은 인접성 기반의 ROOK방식으로 생성되었으며, 행표준화된 행렬임

기준모형(OLS) 분석 결과를 토대로 기준모형이 충족시켜야 할 기본 가정에 대한 통계적 검증을 실시하였다. 사용된 변수간 상관관계를 고려하여 변수 사용을 제약하였으며, OLS모형의 다중공선성(설명변수 과잉 여부), 모형의 유의성(Significance), 모형의 안정성(Stationarity), 편기(Bias), 공간적 상관성(Moran's I), 대안모형 검정(LM 검정)을 시행하였다. 차대차 사고모형에 대한 OLS 진단 결과 공간적 종속성이 존재하므로 공간회귀분석을 사용하여야 올바른 모형을 구축할 수 있고, OLS 대안 모형으로는 공간오차모형(SEM), 공간시차모형(SLM) 및 일반공간모형(General Spatial Model)모형을 모두 살펴볼 필요가 있는 것으로 나타났다. 그러나 Koenker (BP) 검정 결과, 귀무가설이 기각되어 국지적 지리가중회귀(GWR)분석을 통한 OLS 모형의 개선은 기대하기 어려울 것으로 예상된다.

<표 5-9> 차대차 사고 기준모형(OLS) 진단

| OLS기본가정 | 검정 통계량 | H_0 | 진단 | 해석 |
|----------|-------------------|--|-------|--------------------------------|
| 오차의 독립성 | Moran's I (error) | 종속변수 or 오차항은 공간적으로 독립적이다. (No spatial autocorrelation) | 기각 | 종속변수 또는 오차항 또는 모두에 공간적 종속성 존재 |
| | LM (lag) | | | |
| | LM (error) | | | |
| | LM (SARMA) | | | |
| 오차의 이분산성 | Breusch-Pagan | 잔차가 동분산이다. | 기각 | 이분산성 존재 |
| 오차의 정규성 | Jarque-Bera | 잔차가 정규분포한다. | 기각 | 오차의 강한 비정규성으로 모형 결과의 편향 가능성 존재 |
| 다중공선성 | VIF | | 1.48 | 다중공선성 크지 않음 |
| 모형의 안정성 | Koenker(BP) | 모형이 일관된다. | 기각 못함 | 모형이 안정적이다 |
| 모형 설명력 | Joint Wald | 설명변수가 효율적이지 않다. | 기각 | 설명변수가 효율적임 |
| | Joint F | | | |



∴ 가우스-마코브 정리(Gauss - Markov theorem)를 충족시키지 못하였으므로 OLS 추정결과는 BLUE가 되지 못하며, 특히, 오차에 대해 공간적 종속성이 존재하므로 차대차 사고에 대해서는 대안모형(공간계량경제)의 분석이 필요함

3) 대안모형 분석

OLS 진단 결과를 토대로 공간오차모형(SEM), 공간시차모형(SLM)을 분석한 결과, 대안모형의 Log-likelihood와 AIC값⁶⁴⁾이 모두 작게 나타나 모형 설명력이 증가한 것을 알 수 있다. 즉, 모형의 유의성이 높아져 이로 인해 기준모형과 대안모형간 설명 변수의 영향력에 차이가 발생하였다. 만약 이러한 모형을 OLS로 분석하고 해석할 경우 차량 총 통행거리에 대한 차대차 사고 영향력은 다소 적게, 특히, 총 도로연장 대비 제한속도가 60km/h인 도로연장비율 및 토지이용 다양성지표에 대한 차대차 사고의 영향력은 과다 추정될 우려가 있다. 그러나 설명변수의 부호는 동일하게 추정되었다.

대안모형인 공간오차모형과 공간시차모형의 설명력을 R^2 값과 AIC값으로 비교한 결과 공간오차모형이 조금 더 우수한 모형으로 나타났다. 또한 각 모형에서 인접한 TAZ의 영향력을 나타내는 공간오차항(λ)과 공간시차항(ρ)에 대한 LR검정에서 모두 유의수준 0.01에서 귀무가설을 기각하여 공간오차항과 공간시차항이 모형에 유의한 것으로 나타났다. 인접 TAZ에 대한 영향력은 공간오차항(λ)의 계수가 0.324로 공간시차항(ρ)보다 더 높게 추정되었다. 이는 차대차 사고에 영향을 미치는 공간적 과급효과를 나타낸 것으로 해당 TAZ의 차대차 사고건수는 이웃하는 주변 TAZ에서 발생한 차대차 사고의 약 32% 정도의 영향(공간오차모형일 때)을 받는다고 해석할 수 있다. 주택면적 중 아파트면적 비율이 70%이상, 80% 미만인 TAZ의 경우 그렇지 않은 TAZ에 비해 약 23% 정도 차대차 사고가 적게 발생하는 것으로 나타났다. 또한 중앙버스전용차로가 있는 TAZ는 그렇지 않은

64) 대안모형인 공간계량경제모형은 최대우도법(MLE)으로 계수를 추정하여 이때의 R^2 은 pseudo R^2 로서(Anselin and Hudack, 1992; Maurizio Piasati, 2001) 더 이상 공간모형과 비교될 수 없으므로, 모형간 설명력은 R^2 보다는 Log Likelihood값과 AIC값으로 검토한다(이성우 외, 2006). 다만 추정해야 할 모수의 수를 명확히 정의할 수 없기 때문에(이창로 외, 2009) 모형의 간결성도 함께 판단하는 AIC보다는 Log Likelihood가 가장 높은 경우를 통계적으로 우수한 모형으로 판단한다(정건섭, 2012).

TAZ에 비해 약 28% 정도 차대차 사고가 더 많이 발생하는 것으로 나타났다.

차대차 사고 모형에서 특히 주목할 점은 TAZ내 제한속도별 도로연장 비율에 따른 영향력이다. 총도로연장 대비 제한속도가 30km/h인 도로연장 비율이 10% 증가시 교통사고는 3.3% 감소하는 반면, 60km/h인 도로연장 비율이 10% 증가할 경우 교통사고는 약 10% 증가하게 된다. 이를 통해 도로의 제한속도가 차대차 사고에 미치는 영향이 매우 큰 것을 알 수 있다.

대안모형 분석 후 공간오차모형의 잔차에 대한 공간적 상관성 분석 결과, Moran's I값이 -0.003이고 Z값이 -0.03으로 나타나 오차항이 독립적이라는 귀무가설을 기각하지 못함으로써 기준모형의 오류를 해결한 것으로 나타났다.

<표 5-10> 차대차 사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과(n=422)

| 설명변수 | | SEM | | SLM | |
|-------------------------|------------------------------------|---------------------|-------|------------------|-------|
| | | 계수 | Std.E | 계수 | Std.E |
| 상수 | | 2.133*** | 0.227 | 1.482*** | 0.297 |
| 인구환경 | ln(종사자수/인구수) | 0.191*** | 0.033 | 0.159*** | 0.031 |
| 도시환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.007*** | 0.002 | 0.009*** | 0.002 |
| | 토지이용 다양성지표 | 0.910*** | 0.292 | 0.965*** | 0.271 |
| | 아파트면적비율더미(면적비율이 70% 이상 80% 미만이면 1) | -0.210*** | 0.079 | -0.231*** | 0.081 |
| 도로환경 | 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수 | 0.008*** | 0.003 | 0.007*** | 0.003 |
| | 총 도로연장 대비 제한속도가 30km/h인 도로연장비율(%) | -0.286* | 0.150 | -0.301** | 0.140 |
| | 총 도로연장 대비 제한속도가 60km/h인 도로연장비율(%) | 0.696** | 0.304 | 0.775*** | 0.298 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미 (있으면 1, 없으면 0) | 0.246*** | 0.059 | 0.240*** | 0.056 |
| 교통환경 | 버스정류장 수 | 0.013*** | 0.002 | 0.012*** | 0.002 |
| | ln 차량주행거리(VKT) | 0.190*** | 0.041 | 0.168*** | 0.039 |
| 공간 오차항 | λ (Lambda) | 0.324*** | 0.069 | - | |
| | 공간오차항에 대한 LR 검정 | $H_0(\lambda=0)$ 기각 | | - | |
| 공간 시차항 | ρ (Rho) | - | | 0.177*** | 0.055 |
| | 공간시차항에 대한 LR 검정 | - | | $H_0(\rho=0)$ 기각 | |
| 모형 설명력 | TAZ 수 ¹⁾ | 422 | | | |
| | <i>pseudo R</i> ² | 0.59 | | 0.59 | |
| | Log likelihood | -311.952 | | -316.879 | |
| | AIC | 649.905 | | 659.757 | |
| 공간가중치(Row-standardized) | | 인접성 가중치(ROOK방식) | | | |
| Breusch-Pagan 검정 | | H_0 (등분산) 기각 | | H_0 (등분산) 기각 | |

주 1) 차대차 사고의 경우 사고건수가 0건인 TAZ를 제외하고 422개의 TAZ에 대해 분석을 수행하였음

2) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

2. 보행자-차량사고 모형

1) 변수의 설정⁶⁵⁾

보행자-차량사고모형에서도 역시 종속변수에 로그를 취할 수 없는 사고건수가 0인 TAZ(3개)를 제외하고 종속변수를 설정하고, 이들의 공간적 위치와 주요 속성에 대해 살펴보았다. 사고건수가 0인 TAZ의 경우 전체 TAZ에 비해 상대적으로 종사자수가 적고 아파트 비율이 매우 높은 반면, 총차량주행거리(VKT)는 유사한 것으로 나타났다.

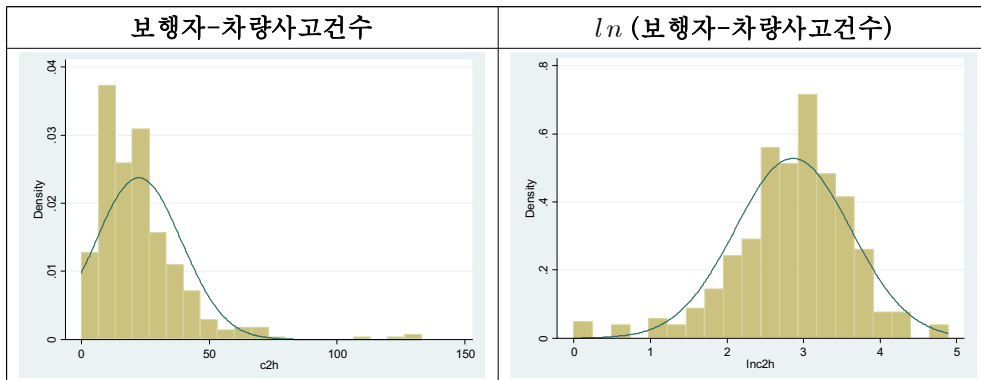
<표 5-11> 보행자-차량사고가 0건인 TAZ 검토

| 사고가 0건인 TAZ의 지리적 위치 확인 | 사고가 0건인 TAZ의 속성 검토 | | |
|------------------------|-----------------------|--------|--------|
| | - 관악구 신사동, 발산제1동, 옥수동 | | |
| | <주요 속성의 평균값(mean) 비교> | | |
| | 구분 | 해당 TAZ | 전체 TAZ |
| | 종사자밀도(인/㎡) | 3,871 | 9,227 |
| | PSL 30km/h인 도로연장비율(%) | 0.23 | 0.31 |
| | PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 0.23 | 0.17 |
| | lnVKT | 5.54 | 4.95 |
| | 버스전용차로연장비율(%) | 0.03 | 0.09 |

모형 분석에 사용된 변수의 형태를 결정하기 위해 히스토그램을 통해 변수의 정규성을 확인하는 작업을 수행하였으며, 그 결과 종속변수에 로그를 취해 정규성을 보완하였다.

65) 보차사고모형에서는 차대차모형과 비교하여 추가된 내용에 대해서만 언급하였으며, 언급되지 않은 내용에 대해서는 차대차모형의 내용을 기준으로 한다.

<표 5-12> 보행자-차량사고 변수의 히스토그램 검토



2) 기준모형 분석 및 진단

기준모형(OLS) 분석결과 보행자-차량사고는 총 10개 설명변수의 영향을 받는 것으로 나타났다. 차대차 사고 모형과 비교할 때 인구환경변수는 모두 새로운 변수로 대체되었으며, 차대차 사고모형에 비해 인구환경변수는 증가하고 다른 유형의 변수들은 모두 감소하였다. 인구환경변수는 차대차 사고모형의 인구수 대비 종사자수에 대한 비(ratio) 변수 대신 65세 이상 인구비율, 인구수, 종사자 밀도 변수가 추가되었다.

도시환경변수에는 토지이용의 다양성 지표 변수만 제외되었으나 주택면적 중 아파트 면적비율 더미⁶⁶⁾는 4가지 경우가 포함되었으며, 아파트 면적비율이 증가할수록 보차사고의 감소효과는 커지는 것으로 나타났다. 종속변수에 미치는 영향이 2배 이상 감소하게 나타났다.

또한 도로환경 변수에서는 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수, 제한속도 30km/h인 도로연장비율, 교통환경에서는 버스정류

66) 차대차 사고 및 자동차 관련 교통사고 모형과 달리 보차사고 모형의 경우 등간으로 구분한 아파트면적비율 더미 중 60% 이상인 더미변수 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타나 더미변수화하여 모형에 적용하였다. 각 아파트비율에 해당하는 TAZ수는 다음과 같다.

<표> 아파트비율에 해당하는 TAZ수

| 아파트비율(R) 더미 | 60%≤R<70% | 70%≤R<80% | 80%≤R<90% | 90% 이상 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 해당 TAZ수 | 34 | 46 | 33 | 65 |

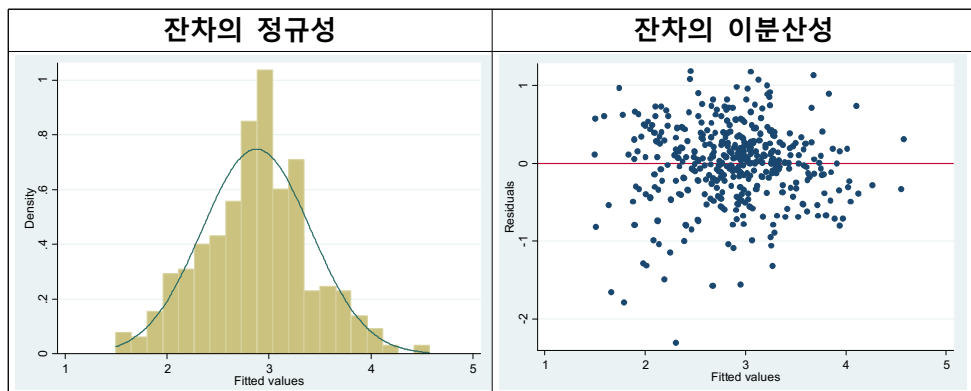
장수 변수가 제외되었다. 보차사고모형에서 제한속도 60km/h인 도로연장비율 변수의 영향이 차대차 사고모형과 비교하여 2배 이상 높게 나타났다는 점에 주목할 필요가 있다. 이는 차로수가 많고 도로폭이 넓을수록 보차사고가 증가한다는 선행연구(Zegeer 외, 2004) 결과와 일치하는 결과이다.

<표 5-13> 보행자-차량사고 기준모형(OLS) 분석 결과(n=420)

| 설명변수 | | 계수 | Std.E | VIF |
|-----------|--------------------------------------|-----------|-------|------|
| 상수 | | -1.095*** | 0.384 | - |
| 인구 환경 | 65세 이상 인구비율(%) | 0.023* | 0.013 | 1.37 |
| | 인구수 | 0.000*** | 0.000 | 1.79 |
| | ln 종사자밀도 (인/㎡) | 0.269*** | 0.030 | 1.31 |
| 도시 환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.006*** | 0.003 | 1.56 |
| | 아파트 면적비율더미_60 (60%≤아파트비율<70%이면 1) | -0.319*** | 0.093 | 1.06 |
| | 아파트 면적비율더미_70 (70%≤아파트비율<80%이면 1) | -0.494*** | 0.083 | 1.12 |
| | 아파트 면적비율더미_80 (80%≤아파트비율<90%이면 1) | -0.409*** | 0.097 | 1.12 |
| | 아파트 면적비율더미_90 (아파트비율이 90%이상이면 1) | -0.538*** | 0.076 | 1.27 |
| 도로 환경 | 총 도로연장 대비 제한속도가 60km/h인 도로연장비율(%) | 1.227*** | 0.250 | 1.67 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미 (있으면 1, 없으면 0) | 0.182*** | 0.054 | 1.22 |
| 교통 환경 | ln(차량주행거리(VKT)) | 0.089*** | 0.036 | 1.70 |
| 모형 설명력 | TAZ 수 | 420 | | |
| | R^2 | 0.54 | | |
| | 수정된 R^2 | 0.53 | | |
| | Log likelihood | -301.817 | | |
| | AIC | 627.634 | | |

주 1) 보차사고의 경우 사고가 한건도 발생하지 않은 3개의 TAZ를 제외하고 분석한 결과임
 2) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

OLS의 분석결과가 통계적으로 유의한 의미를 가지기 위해서는 오차의 정규성, 독립성, 등분산성을 충족시켜야 하고, 설명변수간 다중공선성의 문제가 없어야 한다. 기준모형의 OLS 분석 후 잔차 분석 결과 <그림 5-6>과 같이 이분산성이 나타났으며, 이는 통계 검정 결과와 동일하다. 만약 잔차의 이분산성이 존재하는 경우에 OLS 분석 결과를 그대로 해석할 경우 변수의 영향력을 과대 또는 과소 추정할 우려가 있다. 또한 설명변수 간 상관 분석을 통해 모형에 포함되는 변수는 일정 수준 이하로 제한하였다.



〈그림 5-6〉 보행자-차량사고 기준모형(OLS)의 잔차 분석

기준모형 분석 후 잔차에 대한 공간적 상관성 존재 여부를 검토한 결과, Moran's I가 0.11이고 Z값이 3.17로 귀무가설을 기각함으로써 공간적 자기상관성이 존재하는 것으로 나타났다. 이와 같이 오차의 독립성 가정이 충족되지 못할 경우 OLS의 추정 결과는 신뢰하기 어렵다.

〈표 5-14〉 보행자-차량사고모형 변수의 공간적 상관성 분석 결과

| 모형 변수 | | Moran's I | Z-값 |
|-------|------------------------------|-----------|-------|
| 종속변수 | ln 보행자-차량사고 | 0.18 | 6.48 |
| 인구환경 | 65세 이상 인구비율(%) | 0.54 | 19.00 |
| | 인구수 | 0.34 | 10.11 |
| | ln 종사자밀도 (인/m ²) | 0.43 | 16.25 |
| 오차 | | 0.11 | 3.17 |

주 : 생략된 변수의 공간적 상관성은 <표 5-8> 참조

LM검정을 통해 공간적 종속성의 위치를 확인한 결과 귀무가설을 기각함으로써 차대차 사고 모형과 마찬가지로 종속변수 및 오차항에 모두 존재하는 것으로 나타났다. 또한 변수의 과잉여부를 판단하는 VIF는 1.44로 다중공선성의 문제는 없다고 볼 수 있으며, 설명변수가 포함된 모형의 유의성을 나타내는 Joint F 검정 결과 역시 모형이 유의하게 구성된 것으로 나타났으며, Jarque-Bera 검정 결과에 따르면 오차가 정규분포하지 않으므로 OLS로 분석시 편향된 분석결과를 제시할 우려가 있는 것으로 나타났다. 또한 차대차 사고 모형과 마찬가지로 보행자-차량사고 모형의 경우에도 대안모형으로 모든 공간모형을 분석할 필요가 있는 것으로 나타났다.

<표 5-15> 보행자-차량사고 기준모형(OLS) 진단

| OLS 기본가정 | 검정 통계량 | H_0 | 진단 | 해석 |
|----------|-------------------|--|-------|-------------------------------|
| 오차의 독립성 | Moran's I (error) | 종속변수 또는 오차항은 공간적으로 독립적이다. (No spatial autocorrelation) | 기각 | 종속변수 또는 오차항 또는 모두에 공간적 종속성 존재 |
| | LM (lag) | | | |
| | LM (error) | | | |
| | LM (SARMA) | | | |
| 오차의 이분산성 | Breusch-Pagan | 잔차가 동분산이다. | 기각 | 이분산성 존재 |
| 오차의 정규성 | Jarque-Bera | 잔차가 정규분포한다. | 기각 | 오차의 강한 비정규성으로 모형 결과의 편향 가능 |
| 다중공선성 | VIF | | 1.38 | 다중공선성 미미함 |
| 모형의 안정성 | Koenker(BP) | 모형이 일관되다. | 기각 못함 | 모형이 안정적이다 |
| 모형 설명력 | Joint Wald | 설명변수가 효율적이지 않다. | 기각 | 설명변수가 효율적임 |
| | Joint F | | | |



∴ 가우스-마코브 정리(Gauss - Markov theorem)를 충족시키지 못하였으므로 OLS 추정결과는 BLUE가 되지 못하며, 특히, 오차에 대해 공간적 종속성이 존재하므로 보행자-차량사고에 대해서는 대안모형(공간계량경제)의 분석이 필요함

3) 대안모형 분석

보행자-차량사고 모형의 OLS 진단 후 대안모형으로 공간오차모형(SEM)과 공간시차모형(SLM)을 분석한 결과, 대안모형 모두에서 Log-likelihood와 AIC값이 더 유의한 것으로 나타나 모형의 유의성과 설명력이 증가한 것을 알 수 있다. 모형의 유의성이 증가함에 따라 기준모형과 대안모형간 설명 변수의 영향력에 차이가 발생하였다.

Log-likelihood와 AIC값을 기준으로 한 공간오차모형과 공간시차모형의 비교에서는 공간시차모형이 조금 더 통계적으로 우수한 모형으로 나타났으나, 그 차이가 미미하여 어느 한쪽이 우수하다고 판단하기 어렵다⁶⁷⁾. 또한 각 모형에서 인접한 TAZ의 영향력을 나타내는 공간오차항(λ)과 공간시차항(ρ)에 대한 LR검정 결과, 유의수준 0.01에서 귀무가설을 기각하여 보차모형에서도 공간오차항과 공간시차항 모두 기준모형을 개선시킨 것으로 나타났다. 인접 TAZ에 대한 영향력은 공간오차항(λ)의 계수가 0.371로 0.263인 시차항(ρ)보다 더 높게 측정되었다. 이는 보행자-차량사고에 대한 공간적 파급효과를 나타낸 것으로 공간시차모형일 때 해당 TAZ의 보차사고건수는 인접한 TAZ에서 발생한 보차사고의 약 26% 정도의 영향을 받는다고 해석할 수 있다.

보행자-차량사고는 제한속도 60km/h인 도로연장비율 10% 증가시 약 29% 증가하며, 종사자 밀도 10% 증가시 2.8% 증가하는 것으로 나타나 제한속도가 상대적으로 높은 도로연장비율이 보차사고에 상대적으로 높은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

대안모형 분석 후 공간시차모형의 잔차에 대한 공간적 상관성 분석 결과, Moran's I값이 0.015이고 Z값이 0.68로 나타나 오차항이 독립적이라는 귀무가설을 기각하지 못함으로써 기준모형의 오류를 해결한 것으로 나타났다.

67) Dubin(2009)에 따르면 공간시차항과 공간오차항의 모두 비유의하면 기준모형이, 공간시차항의 유의도가 더 크면 공간시차모형이, 공간오차항의 유의도가 더 크면 공간오차모형이 설명력이 높다. 보차사고모형의 경우 공간시차항(ρ)의 유의도는 4.87이고, 공간오차항(λ)의 유의도는 5.53으로 오차모형의 유의도가 높게 나타났다.

<표 5-16> 보행자-차량사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과(n=420)

| 설명변수 | | SEM | | SLM | |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------|------------------|-------|
| | | 계수 | Std.E | 계수 | Std.E |
| CONSTANT | | -0.619* | 0.325 | -1.621*** | 0.382 |
| 인구 환경 | 65세 이상 인구비율(%) | - | - | 0.026** | 0.012 |
| | 인구수 | 0.00003*** | 0.000 | 0.00003*** | 0.000 |
| | ln 종사자밀도 (인/㎡) | 0.248*** | 0.031 | 0.239*** | 0.029 |
| 도시 환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.005* | 0.003 | 0.007*** | 0.003 |
| | 아파트 면적비율더미_60 (60%≤아파트비율<70%이면 1) | -0.243*** | 0.089 | -0.259*** | 0.089 |
| | 아파트 면적비율더미_70 (70%≤아파트비율<80%이면 1) | -0.478*** | 0.080 | -0.457*** | 0.080 |
| | 아파트 면적비율더미_80 (80%≤아파트비율<90%이면 1) | -0.407*** | 0.092 | -0.382*** | 0.092 |
| | 아파트 면적비율더미_90 (아파트비율이 90%이상이면 1) | -0.591*** | 0.075 | -0.510*** | 0.073 |
| 도로 환경 | 총 도로연장 대비 제한속도가 60km/h인 도로연장비율(%) | 1.357*** | 0.245 | 1.216*** | 0.238 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미 (있으면 1, 없으면 0) | 0.205*** | 0.056 | 0.167*** | 0.052 |
| 교통환경 | ln(차량주행거리) | 0.099*** | 0.037 | 0.098*** | 0.035 |
| 공간 오차항 | λ (Lambda) | 0.371*** | 0.067 | - | |
| | 공간오차항에 대한 LR 검정 | $H_0(\lambda=0)$ 기각 | | - | |
| 공간 시차항 | ρ (Rho) | - | | 0.263*** | 0.054 |
| | 공간시차항에 대한 LR 검정 | - | | $H_0(\rho=0)$ 기각 | |
| 모형 설명력 | TAZ ¹⁾ 수 | 420 | | | |
| | <i>pseudo R</i> ² | 0.53 | | 0.57 | |
| | Log likelihood | -290.063 | | -290.665 | |
| | AIC | 606.127 | | 609.330 | |
| 공간가중치(Row-standardized) | | 인접성 가중치(ROOK방식) | | | |
| Breusch-Pagan 검정 | | H_0 (등분산) 기각 | | H_0 (등분산) 기각 | |

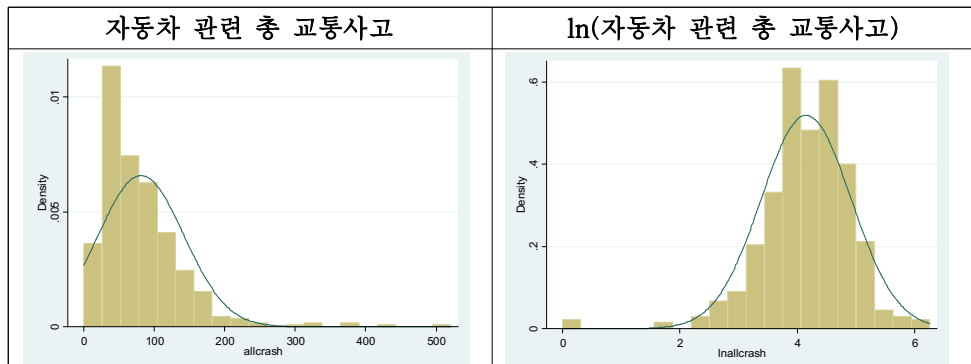
주 1) 보차사고가 발생하지 않은 TAZ(3개)를 제외하고 분석한 결과임

2) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

3. 자동차 관련 총 교통사고 모형⁶⁸⁾

1) 기준모형 분석 및 진단

자동차 관련 교통사고(Motor vehicle Crash)는 자전거, 이륜차 등과 관련된 사고건수를 제외하고 순수하게 자동차와 관련된 사고만을 의미한다. 유형별 교통사고 모형과의 비교를 위해 자동차 관련 교통사고모형에 대해 동일한 연구절차대로 분석하였다. 종속변수의 정규성을 확보하기 위해 로그변환을 취하였다.



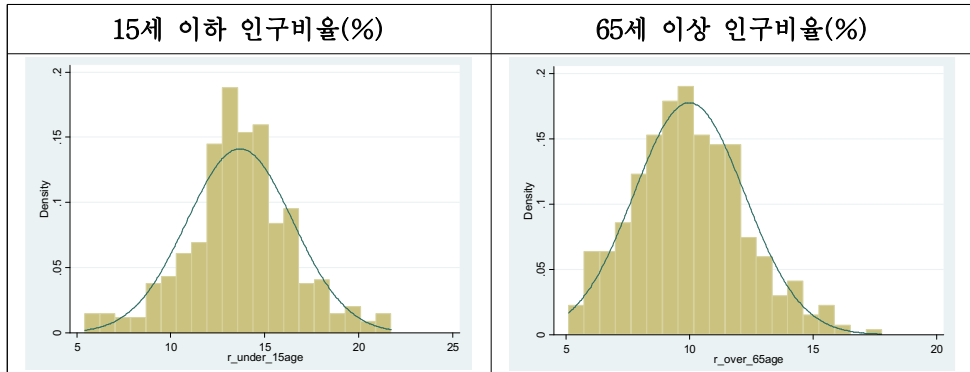
〈그림 5-7〉 종속변수의 정규성 검토

차대차 사고모형과 비교하여 인구환경변수와 도로환경변수에 차이가 있다. 차대차 사고의 경우 소득이나 종사자비율이 영향을 미치는 반면, 자동차 관련 사고의 경우 소득변수는 누락되고, 연령계층별 변수가 포함되었다. 또한 도로환경변수에서는 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수와 총 도로연장 대비 제한속도가 30km/h인 도로연장비율(%) 변수가 누락되고 제한속도가 50km/h인 도로연장비율(%) 변수가 추가되었다.

자동차 관련 총 교통사고모형에서는 15세 이하 인구비율 변수와 제한

68) 자동차 관련 교통사고는 차대차 사고, 보행자-차량사고, 차량단독사고를 모두 합한 사고건수로서 차대차 사고 모형과 보행자-차량사고 모형 분석시 검토한 사고건수가 0인 TAZ 및 변수 설정은 동일하므로 중복되는 내용은 언급하지 않았다. 이에 대해서는 해당 모형 부분을 참고하면 된다.

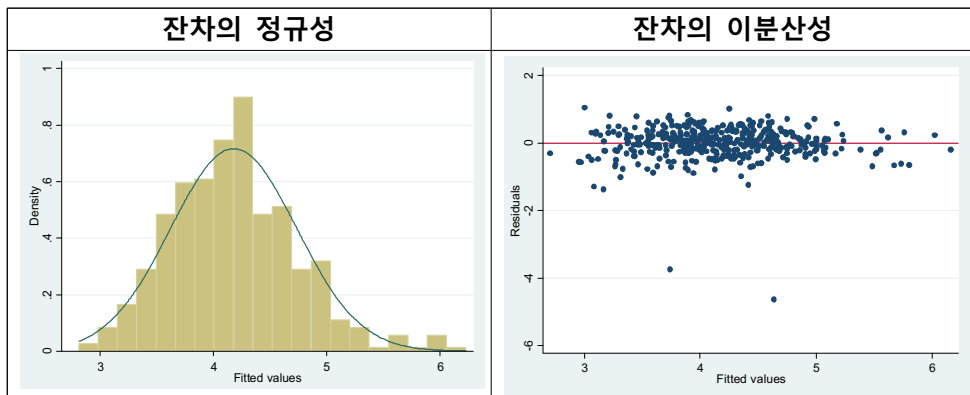
속도가 50km/h인 도로연장비율(%) 변수가 새롭게 추가되었다. 이들 변수의 정규성을 검토한 후에 모형에 포함하였다.



〈그림 5-8〉 연령계층별 변수의 히스토그램 검토

변수별 영향력 측면에서 주택 중 아파트 면적비율더미는 감소효과가, 제한속도가 60km/h인 도로연장비율(%)변수는 사고 증가효과가 차대차 사고모형 보다는 크고, 보차사고모형 보다는 작게 나타났다. 차대차사고 모형과 동일하게 토지이용 다양성지표가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한 OLS 잔차에 대한 분석 결과, 자동차 관련 사고건수가 0인 TAZ를 포함하지 않은 경우 잔차의 합이 작아지는 것으로 나타났으나, 사고건수가 0인 TAZ의 포함 여부와 관계없이 이분산성이 나타났다.



〈그림 5-9〉 자동차 관련 교통사고 기준모형(OLS)의 잔차 분석

<표 5-17> 자동차 관련 총교통사고 기준모형(OLS) 분석 결과(n=422)

| 설명변수 | | 계수 | Std.E | VIF |
|-----------|--|-----------|-------|------|
| 상수 | | 1.629*** | 0.453 | - |
| 인구 환경 | 15세 이하 인구비율(%) | -0.045*** | 0.011 | 1.57 |
| | 65세 이상 인구비율(%) | -0.029*** | 0.012 | 1.33 |
| | ln 종사자밀도(인/㎡) | 0.197*** | 0.034 | 1.79 |
| 도시 환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.010*** | 0.002 | 1.25 |
| | 토지이용 다양성 지표(0~1) | 0.542* | 0.281 | 1.37 |
| | 아파트 면적비율더미 (아파트비율이 70% 이상 80% 미만이면 1) | -0.294*** | 0.079 | 1.09 |
| 도로 환경 | 총 도로연장 대비 PSL50km/h인 도로연장비율(%) | 0.779*** | 0.240 | 1.22 |
| | 총 도로연장 대비 PSL60km/h인 도로연장비율(%) | 1.010*** | 0.265 | 1.97 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미(있으면 1, 없으면 0) | 0.172*** | 0.053 | 1.24 |
| 교통 환경 | 버스정류장 수 | 0.013*** | 0.002 | 1.54 |
| | 차량주행거리(ln(VKT)) | 0.161*** | 0.036 | 1.77 |
| 모형 설명력 | TAZ ¹⁾ 수 | 422 | | |
| | R^2 | 0.57 | | |
| | 수정된 R^2 | 0.56 | | |
| | Log likelihood | -292.800 | | |
| | AIC | 609.600 | | |

주 1) 차대차 사고와 마찬가지로 자동차 관련 교통사고가 발생하지 않은 1개의 TAZ를 제외하고 분석한 결과임

2) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

3) PSL은 제한속도(Posted Speed Limit)를 의미함

기준모형(OLS) 분석 결과, 자동차 관련 총 교통사고 모형 역시 공간회귀 분석을 사용하여야 올바른 모형을 구축할 수 있고, OLS에 대한 대안 모형으로는 공간오차모형(SEM) 및 공간시차모형(SLM), 일반공간모형(General Spatial Model) 모형이 적합할 것으로 예상되었다.

<표 5-18> 자동차 관련 총교통사고 기준모형(OLS) 진단

| OLS 기본가정 | 검정 통계량 | H_0 | 진단 | 해석 |
|----------|-------------------|---|-------|-------------------------------------|
| 오차의 독립성 | Moran's I (error) | 종속변수 또는 오차항은 공간적으로 독립적이다. (No spatial autocorrelation) | 기각 | 종속변수 또는 오차항 또는 모두에 공간적 종속성 존재 |
| | LM (lag) | | | |
| | LM (error) | | | |
| | LM (SARMA) | | | |
| 오차의 이분산성 | Breusch-Pagan | 잔차가 동분산이다. | 기각 | 이분산성 존재 |
| 오차의 정규성 | Jarque-Bera | 잔차가 정규분포한다. | 기각 | 오차의 강한 비정규성으로 모형 결과의 편향 가능 |
| 다중공선성 | VIF | | 1.47 | 다중공선성 미미함 |
| 모형의 안정성 | Koenker(BP) | 모형이 일관된다. | 기각 불합 | 모형이 안정적이다 |
| 모형 설명력 | Joint Wald | 설명변수가 | 기각 | 설명변수가 효율적임 |
| | Joint F | 효율적이지 않다. | | |



∴ 가우스-마코브 정리(Gauss - Markov theorem)를 충족시키지 못하였으므로
OLS 추정결과는 BLUE가 되지 못하며, 특히, 오차에 대해 공간적 종속성이 존재하므로 자동차
관련 총 교통사고에 대해서는 대안모형(공간계량경제)의 분석이 필요함

2) 대안모형 분석

자동차 관련 총 교통사고에 대한 공간모형분석 결과, 공간오차 및 공간
시차모형 모두 OLS를 통계적으로 유의한 수준에서 개선시킨 것으로 나타
났다. 모든 공간분석모형의 LR 검정 결과에서 귀무가설을 기각함으로써
OLS 추정시 토지이용 다양성 지표 변수와 제한속도 50km/h인 도로연장
비율변수는 그 영향력이 과다 추정되고, 차량주행거리 변수는 과소하게 추
정될 우려가 있는 것으로 나타났다. 자동차 관련 총 교통사고모형에서 공간오
차계수인 λ 를 통한 인접 TAZ의 공간적 파급효과는 약 32%로 약 17%인
공간시차계수에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

특이한 점은 65세 이상 인구비율 변수가 보차사고모형에서는 교통사고
증가변수였는데, 자동차 관련 총 교통사고모형에서는 교통사고 감소변수로
나타난 점이다. 또한 공간오차모형에서는 토지이용 다양성 지표의 통계적

유의성이 상실되었다. 총 교통사고에 대한 공간시차모형과 공간오차모형의 영향력을 비교한 결과, Log likelihood와 AIC에서 공간오차모형이 통계적으로 우수한 것으로 나타났으나 그 차이는 미미한 수준이다.

<표 5-19> 자동차 관련 총교통사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과(n=422)

| 설명변수 | | SEM | | SLM | |
|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------|------------------|-------|
| | | 계수 | Std.E | 계수 | Std.E |
| 상수 | | 1.598*** | 0.463 | 1.018** | 0.482 |
| 인구 환경 | 15세 이하 인구비율(%) | -0.046*** | 0.011 | -0.043*** | 0.010 |
| | 65세 이상 인구비율(%) | -0.031* | 0.014 | -0.025** | 0.012 |
| | ln 종사자밀도(인/m ²) | 0.214*** | 0.033 | 0.180*** | 0.034 |
| 도시 환경 | 학교 수(어린이집 ~초등학교) | 0.008*** | 0.002 | 0.011*** | 0.002 |
| | 토지이용 다양성 지표 | - | - | 0.454* | 0.274 |
| | 아파트면적비율더미(아파트비율이 70% 이상 80% 미만이면 1) | -0.262*** | 0.075 | -0.285*** | 0.077 |
| 도로 환경 | 총 도로연장 대비 PSL 50km/h인 도로연장비율(%) | 0.729*** | 0.256 | 0.676*** | 0.236 |
| | 총 도로연장 대비 PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 1.020*** | 0.260 | 0.957*** | 0.258 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미 (있으면 1, 없으면 0) | 0.186*** | 0.055 | 0.165*** | 0.052 |
| 교통 환경 | 버스정류장 수 | 0.013*** | 0.002 | 0.013*** | 0.002 |
| | 차량주행거리(ln(VKT)) | 0.186*** | 0.037 | 0.164*** | 0.035 |
| 공간 오차항 | λ (Lambda) | 0.323*** | 0.068 | - | |
| | 공간오차항에 대한 LR 검정 | $H_0(\lambda=0)$ 기각 | | - | |
| 공간 시차항 | ρ (Rho) | - | | 0.171*** | 0.055 |
| | 공간시차항에 대한 LR 검정 | - | | $H_0(\rho=0)$ 기각 | |
| 모형 설명력 | TAZ ¹⁾ | 422 | | | |
| | pseudo R^2 | 0.58 | | 0.58 | |
| | Log likelihood | -284.493 | | -288.069 | |
| | AIC | 594.987 | | 604.138 | |
| 공간가중치 | | 인접성 가중치(ROOK방식) | | | |
| Breusch-Pagan (H_0 : 등분산) 검정 | | H_0 기각 | | | |

주 1) 자동차 관련 교통사고가 0건인 1개의 TAZ를 제외하고 분석한 결과임

2) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

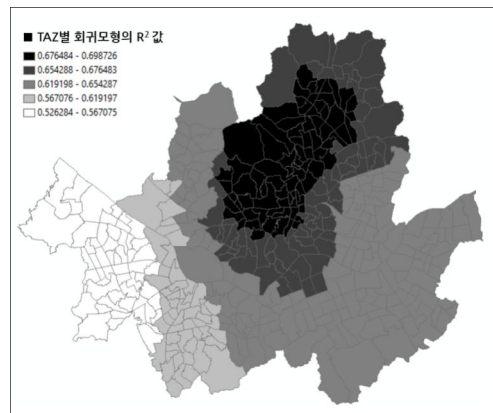
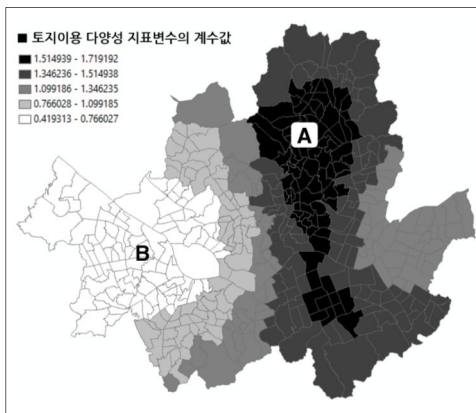
3) PSL은 제한속도(Posted Speed Limit)를 의미함

제3절 국지적 공간모형 분석

본 절에서는 공간적 이질성을 고려한 국지적 공간모형을 사고 유형별로 분석하였다.

1. 차대차 사고 모형

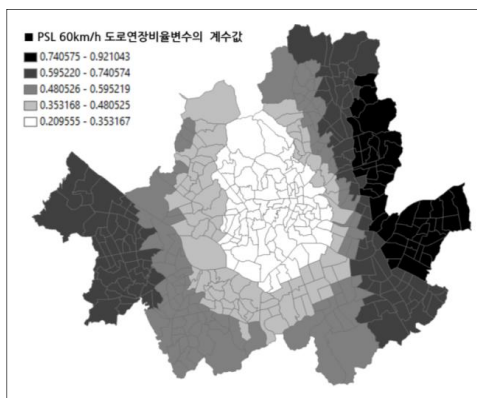
국지적 공간모형은 각 TAZ별로 계수값을 추정하므로 변수의 영향력은 특정값이 아니라 평균 및 표준편차, 범위값(최대·최소값)로 나타낸다. 국지적 공간모형의 계수값 범위를 <그림 5-10>과 같이 나타낼 경우 동일한 변수의 영향에 대한 공간적 이질성을 시각적으로 확인할 수 있다. 즉, 차대차 사고 GWR모형의 토지이용 다양성지표의 계수값 평균은 1.169이나, A지역에서는 토지이용 다양성지표의 계수값은 평균보다 더 높고, B지역은 상대적으로 낮은 영향력을 가지는 것으로 나타났다. GWR 분석 결과를 토대로 지역별 이질성을 변수별로 확인함으로써 지역에 적합한 교통안전 정책을 수립하는데 시사점을 찾을 수 있을 것으로 예상된다. 또한 TAZ별로 추정된 회귀모형의 설명력도 국지적으로 파악할 수 있다. GWR을 통해 TAZ별로 추정된 모형식의 R^2 값은 0.53~0.74 사이의 값을 가지며, <그림 5-11>에서 진한 색을 가진 TAZ일수록 R^2 값이 높다는 의미이다.



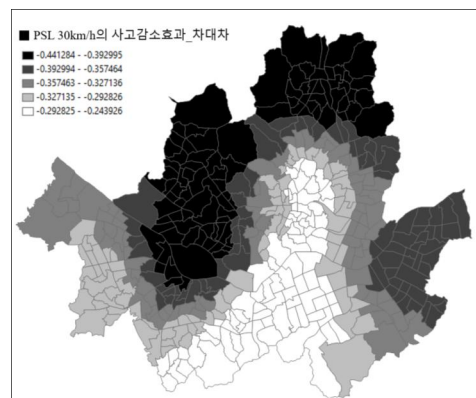
<그림 5-10> 토지이용 다양성 변수의 분포 <그림 5-11> GWR 차대차사고모형의 R^2 분포

<표 5-12>와 같이 토지이용 다양성지표와 총 도로연장 대비 제한속도가 60km/h인 도로연장비율(%) 변수의 계수값이 TAZ별로 큰 차이를 나타내는 것을 볼 때 공간적 이질성으로 인하여 종속변수와 설명변수간의 관계가 국지적으로 차이가 있음을 확인할 수 있다. 또한 토지이용 다양성 지표의 경우 TAZ별 공간적 이질성이 크게 나타나는 변수임을 알 수 있다.

GWR 분석 결과 추정된 잔차(109.44)는 OLS 추정시 산출된 잔차(124.92)에 비해 크게 감소하여 모형의 AIC도 감소한 것으로 나타나 OLS 보다는 국지적 대안모형을 분석하는 것이 보다 효율적인 것을 확인하였다. 또한 GWR 모형과 비교할 때 기준모형(OLS)은 토지이용 다양성지표, 총 도로연장 대비 제한속도가 30km/h 및 60km/h인 도로연장비율 변수, 중앙버스전용차로 유무에 따른 영향 등이 과다 추정될 우려가 있는 것으로 나타났다. 그러나 변수의 방향은 동일하게 나타났다. 제한속도 60km/h에 따른 사고증가 영향은 서울시 외곽지역으로 갈수록 높게 나타난 반면 제한속도 30km/h 도로연장 변수에 따른 사고감소효과는 강남 및 서초구 일대에서 가장 낮게 나타났고, 강남보다는 강북에서 크게 나타났다. 이와 같이 각 영향요인의 국지적 영향을 TAZ별로 시각화하여 확인할 수 있는 점이 GWR의 큰 장점이라고 볼 수 있다.



<그림 5-12> PSL 60km/h인 도로비율 변수



<그림 5-13> PSL 30km/h인 도로비율 변수

<표 5-20> 차대차 사고 대안모형(GWR) 분석 결과

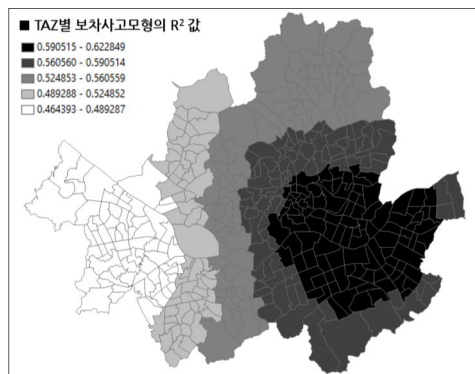
| 설명변수 | | 계수 | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|--------|-------|-------|
| | | 평균 | 최소 | 최대 | Std.E |
| 상수 | | 1.848 | 1.255 | 2.640 | 0.398 |
| 인구환경 | ln(종사자수/인구수) | 0.176 | 0.138 | 0.239 | 0.025 |
| 도시환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.010 | 0.003 | 0.022 | 0.005 |
| | 토지이용 다양성지표 | 1.104 | 0.229 | 1.941 | 0.526 |
| | 아파트 면적비율더미(아파트비율이 70% 이상 80% 미만이면 1) | -0.215 | -0.591 | 0.073 | 0.142 |
| 도로환경 | PSL 차이가 30km/h 이상인 접속지점 수 | 0.008 | 0.005 | 0.010 | 0.001 |
| | PSL 30km/h인 도로연장비율(%) | -0.301 | -0.572 | 0.005 | 0.142 |
| | PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 0.640 | 0.112 | 1.329 | 0.277 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미(있으면 1) | 0.229 | 0.105 | 0.341 | 0.070 |
| 교통환경 | 버스정류장 수 | 0.014 | 0.009 | 0.022 | 0.003 |
| | ln차량주행거리(VKT) | 0.219 | 0.099 | 0.339 | 0.063 |
| 모형 설명력 | R^2 (수정 R^2) | 0.66(0.61) | | | |
| | Log likelihood | -275.317 | | | |
| | AIC | 635.360 | | | |
| GWR 잔차의 Moran's I(Z값) | | 0.08(2.83) | | | |
| Kernel type | | Adaptive Gaussian | | | |
| Bandwidth method | | AICc 최소화 | | | |

2. 보행자-차량사고 모형

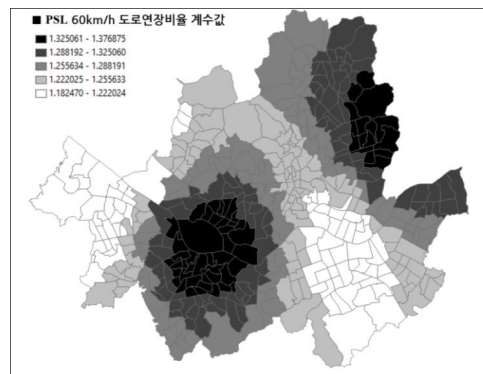
보행자-차량사고의 GWR모형도 OLS 추정결과와 비교할 때 통계적으로 개선된 것으로 나타났다. 또한 PSL 60km/h인 도로연장비율(%) 변수가 TAZ별로 공간적 영향력의 범위가 가장 크게 나타났다. 또한 TAZ별로 추정된 보차사고모형의 설명력(R^2)은 서울 동남부지역이 서남부지역보다 높게 나타났으며, 공간적 영향력이 다른 사고모형에서 비해 높게 나타난 아파트면적 비율 더미와 제한속도 60km/h 도로연장비율 변수가 보차사고에서는 공간 상에서 어떻게 나타나는지 확인해 보았다.

<표 5-21> 보행자-차량사고 대안모형(GWR) 분석 결과

| 설명변수 | | 평균 | 최소 | 최대 | Std.E |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|--------|--------|-------|
| 상수 | | -1.365 | -2.747 | -0.477 | 0.582 |
| 인구환경 | 65세 이상 인구비율(%) | 0.016 | -0.016 | 0.044 | 0.017 |
| | 인구수 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | ln 종사자밀도(인/㎡) | 0.288 | 0.193 | 0.385 | 0.047 |
| 도시환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.007 | 0.000 | 0.015 | 0.004 |
| | 아파트 면적비율더미_60 (60%≤아파트비율<70%이면 1) | -0.308 | -0.508 | 0.019 | 0.136 |
| | 아파트 면적비율더미_70 (70%≤아파트비율<80%이면 1) | -0.534 | -0.807 | -0.326 | 0.104 |
| | 아파트 면적비율더미_80 (80%≤아파트비율<90%이면 1) | -0.477 | -0.678 | -0.199 | 0.128 |
| | 아파트 면적비율더미_90 (아파트비율이 90%이상이면 1) | -0.596 | -0.850 | -0.416 | 0.108 |
| 도로환경 | PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 1.293 | 0.966 | 1.598 | 0.160 |
| | 중앙버스전용차로 유무더미(있으면 1) | 0.183 | 0.129 | 0.271 | 0.033 |
| 교통환경 | ln(차량주행거리(VKT)) | 0.124 | 0.061 | 0.201 | 0.034 |
| 모형 설명력 | R^2 (수정된 R^2) | 0.63(0.57) | | | |
| | Log likelihood | -255.847 | | | |
| | AIC | 600.511 | | | |
| GWR 잔차의 Moran's I(Z값) | | 0.08(2.74) | | | |
| Kernel type | | Adaptive Gaussian | | | |
| Bandwidth method | | AICc | | | |



<그림 5-14> GWR 보차사고모형의 R^2 분포



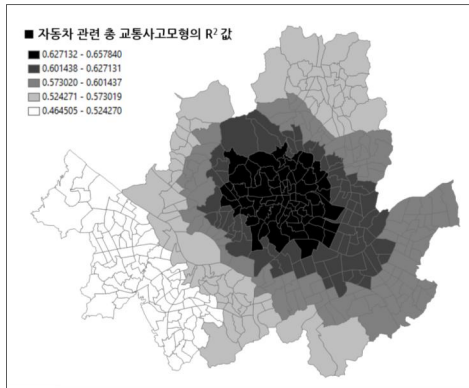
<그림 5-15> PSL 60km/h 도로비율변수

3. 자동차 관련 총 교통사고 모형

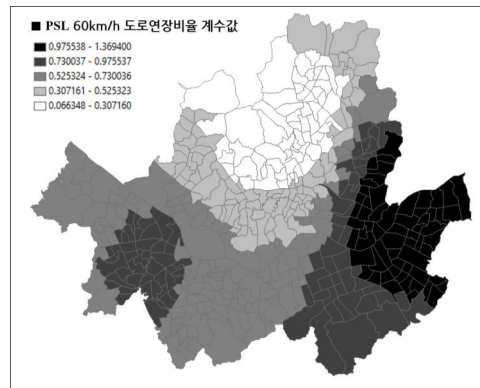
자동차 관련 총 교통사고의 GWR모형의 설명력은 0.58~0.73 사이의 값으로 기준모형 보다 통계적으로 우수한 것으로 나타났다. 따라서 대안 모형의 선택을 통해 보다 효율적인 모형 추정이 가능할 것으로 판단된다. 전체 교통사고 모형에서도 제한속도 도로연장비율 변수와 토지이용 다양성의 이질성이 높게 나타났는데, 이러한 이질성은 사고유형모형별로 상이하게 나타나 동일 변수(예, 60km/h 도로연장비율)에 의한 영향이 공간적 뿐 아니라 사고 유형별로도 달라짐을 확인하였다.

<표 5-22> 자동차 관련 총 교통사고 대안모형(GWR) 분석 결과

| 설명변수 | | 계수 | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|--------|--------|-------|
| | | 평균 | 최소 | 최대 | Std.E |
| 상수 | | 1.342 | -0.033 | 2.149 | 0.525 |
| 인구 환경 | 15세 이하 인구비율(%) | -0.040 | -0.069 | -0.006 | 0.018 |
| | 65세 이상 인구비율(%) | -0.031 | -0.044 | -0.015 | 0.009 |
| | ln(종사자수/인구수) | 0.191 | 0.091 | 0.268 | 0.042 |
| 도시 환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.010 | 0.004 | 0.020 | 0.005 |
| | 토지이용 다양성 지표 | 0.673 | 0.058 | 1.544 | 0.354 |
| | 아파트 면적비율더미_70 (70%≤아파트비율<80%이면 1) | -0.273 | -0.612 | 0.040 | 0.133 |
| 도로 환경 | PSL 50km/h인 도로연장비율(%) | 0.587 | -0.009 | 1.253 | 0.290 |
| | PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 0.963 | 0.599 | 1.482 | 0.176 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미(있으면 1) | 0.149 | 0.038 | 0.267 | 0.066 |
| 교통 환경 | 버스정류장 수 | 0.014 | 0.010 | 0.020 | 0.002 |
| | 차량주행거리(ln(VKT)) | 0.214 | 0.096 | 0.301 | 0.058 |
| 모형 설명력 | R^2 (수정된 R^2) | 0.66(0.61) | | | |
| | Log likelihood | -243.876 | | | |
| | AIC | 593.684 | | | |
| GWR 잔차의 Moran's I(Z값) | | 0.087(3.04) | | | |
| Kernel type | | Adaptive Gaussian | | | |
| Bandwidth method | | AIC | | | |



〈그림 5-16〉 자동차 관련 사고모형의 R^2 분포



〈그림 5-17〉 PSL 60km/h 도로비율변수

제4절 최적 모형 선정

1. 모형 설명력 비교 검토

서울시 유형별 교통사고의 발생특성을 가장 잘 나타낸 분석모형을 파악하기 위해 우도(log likelihood)와 AIC를 기준으로 기준모형과 공간모형의 설명력 지표를 비교하였다. 분석 결과, 서울시 교통사고 유형별 발생특성을 가장 잘 나타낸 전역적 모형의 경우 모든 사고 유형에서 공간오차모형(SEM)의 설명력이 조금 더 높은 것으로 나타났다. 다만, 보차사고의 공간오차모형에서 65세 이상 인구비율 변수가 유의하지 않게 나타났고, 공간오차모형과 공간시차모형(SLM)간 설명력 차이가 매우 미미하므로 서울시의 유형별 교통사고 모형을 분석하는데 SEM 뿐 아니라 SLM을 함께 활용해도 좋을 것으로 판단된다. 왜냐하면 첫째, 공간오차모형과 공간시차모형 모두 OLS보다 높은 모형 설명력을 갖는 것으로 나타났고, 둘째, 공간오차모형과 공간시차모형간의 통계적 유의성 차이가 미미하며, 셋째, 설명변수의 방향이 동일하고, 영향력에 큰 차이가 없으며, 마지막으로 SEM모형과 SLM모형에서 인접지역의 영향력을 나타내는 공간오차항 계수(λ)와 공간시차항 계수(ρ)의 LR 검정⁶⁹⁾에서 모두 통계적으로 유의(신뢰수준 95%)하게 나타났기 때문이다. 또한 SEM의 잔차에 대한 공간적

자기상관성 검정 결과, 공간 가중행렬의 적용을 통해 오차항(또는 시차항)에 더 이상 공간적 자기상관성이 남아 있지 않는 것으로 나타났다. 따라서 서울시의 유형별 교통사고 분석시 오차항에 공간적 자기상관성이 존재하므로 이를 기준 모형(OLS)으로 분석할 경우 기본 가정에 위배되어 설명변수의 영향력을 과대 또는 과소 추정⁷⁰⁾할 우려가 있다고 말할 수 있다.

기준모형 대비 국지적 공간모형(GWR)의 개선정도를 R^2 값을 기준으로 파악한 결과, 모든 사고 유형에서 모형의 설명력이 크게 증가한 것으로 나타났다. GWR의 R^2 이 TAZ별로 추정된 회귀식의 R^2 값을 평균한 값을 감안할 때 일부 TAZ의 모형식은 전역적 공간모형에 비해 높은 설명력을 가지고 있을 수 있다.

<표 5-23> 기준모형 대비 공간모형의 설명력 비교

| 사 고 유 형 | 분 석 모 형 | | 모형 설명력 지표 | | | 잔차의 독립성 검정 |
|------------------|------------------|-----|-----------|----------|---------|---------------|
| | | | R^2 | LL | AIC | |
| 차대차사고 | 기준모형 | OLS | 0.58 | -321.978 | 665.956 | 기각 |
| | 전역적 대안모형 | SEM | 0.59 | -311.952 | 649.905 | 기각 못함 |
| | | SLM | 0.59 | -316.879 | 659.757 | 기각 못함 |
| | 국지적 대안모형 | GWR | 0.66 | -275.317 | 635.360 | 기각 |
| 보행자-차량 사고 | 기준모형 | OLS | 0.54 | -301.817 | 627.634 | 기각 |
| | 전역적 대안모형 | SEM | 0.53 | -290.063 | 606.127 | 기각 못함 |
| | | SLM | 0.57 | -290.665 | 609.330 | 기각 못함 |
| | 국지적 대안모형 | GWR | 0.63 | -255.847 | 600.511 | 기각 |
| 자동차 관련 총 교통사고 | 기준모형 | OLS | 0.57 | -292.800 | 609.600 | 기각 |
| | 전역적 대안모형 | SEM | 0.58 | -284.493 | 594.987 | 기각 못함 |
| | | SLM | 0.58 | -288.069 | 604.138 | 기각 못함 |
| | 국지적 대안모형 | GWR | 0.66 | -243.876 | 593.684 | 기각 |

주 : 전역적 대안모형의 R^2 은 $pseudoR^2$ 이고, 잔차의 독립성 검정의 귀무가설(H0)은 공간적 자기상관성이 없다는 것임

69) 이때 LR(Loglikelihood Ratio) 검정의 귀무가설은 공간오차항 계수(λ) 또는 공간시차항 계수(ρ)가 0이라는 것이다.

70) 그러나 계수값의 편기(Bias)는 발생하지 않는다.

국지적 공간모형의 경우 기준모형인 OLS와 GWR 분석결과(잔차)에 대한 분산분석(ANOVA)을 통해 GWR의 개선 여부를 판단하고 통계적으로 우수한 모형을 선정하게 된다. 서울시 교통사고 유형별 GWR모형에 대한 분산분석 시행 결과, 차대차, 보행자-차량, 전체사고모형에서는 F검정에 대한 귀무가설(H_0 : OLS와 GWR간에 차이가 없다)을 기각하여 GWR이 OLS를 개선한 것으로 나타났다.

<표 5-24> GWR 모형의 OLS 개선효과 검증

| 구분 | 차대차사고 | 보행자-차량사고 | 자동차 관련 사고 |
|------------|----------|----------|-----------|
| F ratio | 1.982 | 1.864 | 1.996 |
| 귀무가설(유의수준) | 기각(0.01) | 기각(0.01) | 기각(0.01) |
| OLS 개선 여부 | 개선 | 개선 | 개선 |

주 : 자세한 분석값은 부록 참조

모형의 설명력을 회귀계수(R^2)로 비교할 경우 국지적 모형인 GWR 모형의 설명력이 가장 좋은 것으로 나타났다. 국지적 모형의 경우 TAZ 개수만큼 회귀식이 추정되므로 모형식 전체가 아니라 개별 TAZ의 R^2 을 공간오차모형(SEM)의 R^2 과 비교한 결과, 자동차 관련 사고와 보행자-차량사고의 경우 분석에 포함된 전체 TAZ, 차대차사고의 경우 92.9% (393개)의 TAZ가 전역적 공간모형 보다 높은 설명력을 가지는 것으로 나타났다. OLS 및 GWR의 경우 최소제곱법으로 회귀계수값을 구하기 때문에 R^2 값으로 비교가 가능하나 전역적 공간회귀모형인 공간오차모형(SEM)과 공간시차모형(SLM)의 경우는 최대우도법(MLE)으로 추정되어 pseudo- R^2 이 되므로 직접 비교는 곤란하다. 또한 전역적 공간모형간 비교에 적합한 설명력 지표인 AIC로 비교한 결과, 모든 사고 유형에서 공간오차모형(SEM)이 가장 설명력이 좋은 모형으로 나타났다. 공간오차모형의 설명력이 우수한 것으로 나타난 서울시의 유형별 사고의 경우 공간적 이질성이 심한 것으로 판단할 수 있다(이창로, 2009).

따라서 본 연구에서는 서울시에서 발생한 모든 유형별 사고 모형의 최적 모형을 GWR과 공간오차모형으로 선정하였다.

<표 5-25> 서울시 교통사고 유형별 최적 모형 검토

| 교통사고 모형 | 설명력 지표 | 모형 적합도 순서 |
|--------------------------|----------------|-----------------------|
| 차대차사고 | R^2 | GWR > SEM, SLM > OLS |
| | Log-Likelihood | GWR > SEM > OLS > SLM |
| | AIC | GWR > SEM > SLM > OLS |
| 보행자-차량 사고 ⁷¹⁾ | R^2 | GWR > SLM > OLS > SEM |
| | Log-Likelihood | GWR > SEM > SLM > OLS |
| | AIC | GWR > SEM > SLM > OLS |
| 자동차 관련 총 교통사고 | R^2 | GWR > SEM, SLM > OLS |
| | Log-Likelihood | GWR > SEM > SLM > OLS |
| | AIC | GWR > SEM > SLM > OLS |

또한 서울시 교통사고 유형별 인접 TAZ의 영향력을 검토한 결과 차대차사고와 자동차 관련 총 교통사고는 인접 TAZ의 영향력이 약 32%로 분석되었으며, 이는 차대차 및 자동차 관련 교통사고에 영향을 미치는 공간적 파급효과를 나타낸다. 즉, 해당 TAZ의 교통사고건수는 이웃한 TAZ들의 평균 사고건수의 약 32% 정도의 영향을 받는다고 말할 수 있다. 보행자-차량교통사고에 대한 인접 TAZ의 영향력은 상대적으로 높은 37%로 나타났다.

71) Dubin(2009)에 따르면 공간회귀계수의 통계적 유의도가 큰 모형이 더 적합한 모형인데, 보차사고모형 공간시차항(ρ)의 유의도는 4.87이고, 공간오차항(λ)의 유의도는 5.53으로 공간오차항의 통계적 유의도가 상대적으로 높게 나타났다.

<표 5-26> 서울시 교통사고 유형별 인접 TAZ의 영향력 검토

| 구분 | 차대차사고 | 보행자-차량 사고 | 자동차 관련 총 교통사고 |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 인접 TAZ의 영향력 (전역적 최적모형) | 32.4% (SEM) | 37.1% (SEM) | 32.3% (SEM) |

주: SEM의 경우 공간오차계수인 λ 의 계수값임

모형에 주요하게 포함된 중앙버스전용차로 유무 더미변수와 PSL 60km/h인 도로연장비율 변수가 복합적(jointly)으로 교통사고에 영향을 미치는지 파악하기 위해 교차항(interaction term)을 모형에 포함하여 추정하였다. 이를 통해 중앙버스전용차로가 있으면서 PSL 60km/h인 도로연장비율이 높은 TAZ의 교통사고 변화를 살펴볼 수 있다. 그 결과, PSL 60km/h인 도로연장비율 변수가 증가할 경우 중앙버스전용차로가 있는 TAZ가 없는 TAZ보다 차대차사고가 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 60km/h 도로연장비율 1% 변화시 중앙버스전용차로가 있는 TAZ는 중앙버스전용차로가 없는 TAZ 대비 차대차사고가 1.6%, 자동차 관련 사고는 1.1% 감소하는 것으로 나타났다.

<표 5-27> 공간적 요인간 교차항 분석

| 교차항 | 교통사고 유형 | 계수값 | TAZ간 사고 영향 차이 ¹⁾ |
|------------------------------------|-----------|----------|-----------------------------|
| 중앙버스전용차로 더미 × PSL 60km/h 도로연장비율 | 차대차사고 | -0.953** | -1.6% |
| | 자동차 관련 사고 | -0.745* | -1.1% |

주 1) 60km/h 도로연장비율 1% 변화시 중앙버스전용차로가 있는 TAZ와 중앙버스전용차로가 없는 TAZ간의 사고 영향 차이임.

2) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

3) 보차사고의 경우 통계적으로 유의한 교차항이 없어 제시하지 않음

2. 모형의 오차율 비교 검토

신뢰성있는 모형을 선정하기 위해 사용되는 지표로서 일반적으로 평균 제곱근오차(RMSE; Root Mean Square Error)나 평균제곱근 백분율 오차(RMSE%)등이 있으며, 이들 각각의 산정식은 다음과 같다. 여기서, e_i 는 $Y_{obs,i}$ (실제 유형별 사고건수)와 $Y_{model,i}$ (각 모형별로 추정된 유형별 사고건수)의 차이이고, N 은 분석에 사용된 TAZ수이다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N |e_i|^2} \quad \text{식(2)}$$

$$RMSE \% = 100 \times \left(\sum_i^N \left| \frac{e_i}{Y_{obs,i}} \right| \right) / N \quad \text{식(3)}$$

Knudsen과 Fotheringham(1986)⁷²⁾은 공간 모형의 적합도 비교를 위해 표준화된 평균제곱근오차(SRMSE; Standardized Root Mean Square Error)를 제안하였으며 수식은 다음과 같다.

$$SRMSE = RMSE / \overline{Y_{obs,i}} \quad \text{식(4)}$$

정우현(2011)과 홍지연(2013) 역시 본 연구에서처럼 동일한 데이터셋을 이용하여 추정된 두 개 이상의 전역적·국지적 공간분석모형을 비교하는데 적합한 평가지표로 표준화된 평균제곱근오차를 적용하였다. 이에 본 연구에서도 SRMSE를 통해 사고유형별 분석모형의 신뢰성을 비교하였으며, 비교 결과, 모형의 설명력 비교 결과와 유사한 결과가 나타났다.

72) Knudsen, D. C. and Fotheringham, A. S., 1986, Matrix Comparison, Goodness-of-Fit, and Spatial Interaction Modelling, International Regional Science Review, Vol.10, No.2, 127-147

<표 5-28> 분석모형별 SRMSE 분석 결과

| 구분 | 모형 | 차대차사고 | 보차사고 | 자동차 관련 사고 |
|-------------|---------------------|-------|-------|-----------|
| 기준모형 | 회귀모형(OLS) | 0.138 | 0.174 | 0.116 |
| 전역적 공간모형 | 공간오차모형(SEM) | 0.138 | 0.175 | 0.117 |
| | 공간시차모형(SLM) | 0.221 | 0.318 | 0.209 |
| 국지적 공간모형 | 지리적 가중회귀모형 (GWR) | 0.037 | 0.168 | 0.001 |

3. 사고유형별 최적 모형 선정 및 해석

모형의 설명력 및 오차의 크기 비교를 통한 전역적 모형의 최적 모형으로 차대차사고모형과 자동차 관련 교통사고모형은 공간오차모형, 보차사고모형은 공간시차모형이 선정되었으며, 국지적 모형에서는 GWR 모형이 선정되었다. 교통사고 유형별 최적의 전역적 모형을 <표 5-29>, 국지적 모형을 <표 5-30>에 제시하였으며, 이를 통해 교통사고에 대한 주요 영향요인을 비교할 수 있다.

본 연구에서는 인구수 대비 종사자수 비율의 경우 보차사고보다는 차대차 및 자동차 관련 사고를 증가시키는 인과관계가 있는 것으로 나타났으며, 이는 선행연구(Quddus, 2008; Karim, 2014)와도 일치하는 결과이다.

또한 자동차 관련 사고모형에서 15세 미만 인구가 많은 TAZ일수록 사고가 감소하는 것으로 나타났는데, 이 연령계층은 운전과는 무관한 집단으로 노출기회가 감소하였기 때문으로 판단된다. 선행연구(Lascala 외, 2000; Siddiqui 외, 2012; Aguro-Valverde, 2013)에서도 15세 미만 인구가 증가하면 교통사고는 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 65세 이상 인구의 경우 보차사고에서는 증가변수로, 자동차 관련 사고에서는 감소변수로 나타났는데, 이 연령층의 경우 통행수단이 주로 보행이나 대중교통수단으로 차량에 노출되는 빈도가 높아지기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

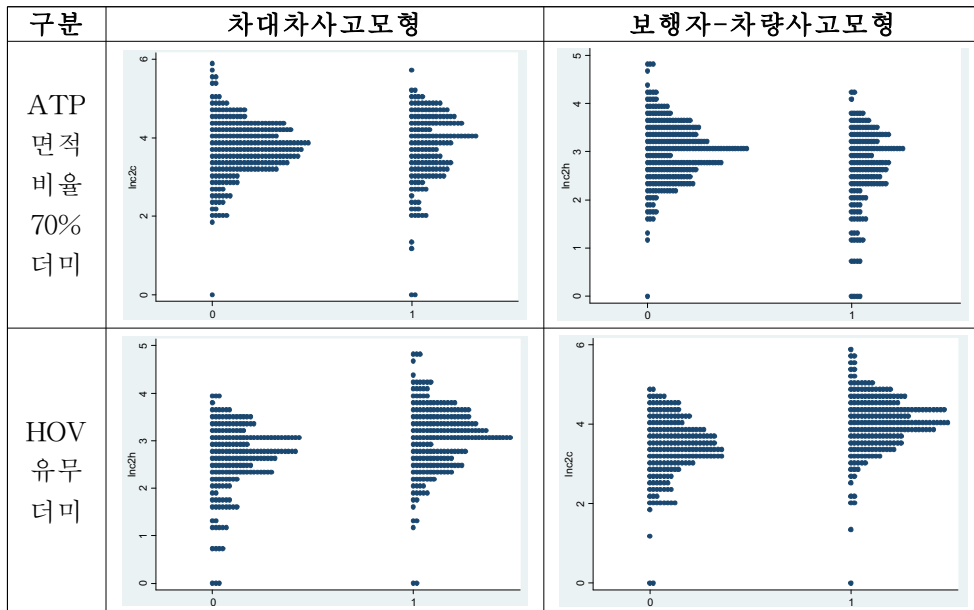
선행연구에서도 마찬가지로 일부(Scheiner 외, 2011; Aguro-Valverde, 2013)에서는 65세 이상인구가 증가하면 사망 및 심각한 부상사고가 증가하는 것으로 나타났고, 일부(Lascala 외, 2000; Wang 외, 2013)에서는 교통사고가 감소하는 것으로 나타났다. 다만, 최근 고령인구의 증가로 보차사고로 인한 부상 및 사망사고가 증가⁷³⁾하는 현상과 일치하는 결과로서 본 연구에서 계량모형을 통해 제시한 분석결과가 시사하는 바가 크다고 할 수 있다. 이외에도 인구수와 종사자밀도는 선행연구(박승훈, 2014; Siddiqui, 2012)와 마찬가지로 보차사고를 증가시키는 것으로 나타났으며, 이는 활동인구의 노출빈도가 많아졌기 때문으로 해석할 수 있다. 다만 본 연구에서 성별인구비율이나 기초생활수급자비율과 같은 변수를 독립변수로 고려하였으나, 서울시 유형별 교통사고 모형에서는 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다.

학교수는 모든 유형의 사고모형에 포함되었으며, 비슷한 수준의 사고 증가 영향을 나타냈으며, 선행연구(Wang 외, 2013)에서도 학교수는 교통사고를 증가시키는 변수로 나타났다. 토지이용 다양성 지표는 차대차사고(SEM & SLM)와 자동차 관련 사고(SLM)에 영향을 미치나 보차사고모형에서는 통계적 유의성이 없게 나타났으며, 토지이용이 동질적인 TAZ보다는 다양한 토지이용이 복합적으로 밀집되어 있는 TAZ일수록 차대차사고가 증가하는 것으로 나타났다. 토지이용의 다양성은 유동인구를 증가시켜 오히려 보차사고에 영향을 미칠 것으로 예상하였는데, 모형분석결과가 예상과 다르게 나타났다. 박승훈(2014b)의 연구에 따르면 혼합적 토지이용이 증가할수록 보차사고의 발생이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 토지이용 지표가 아닌

73) 부록에 수록된 차량단독사고모형의 경우 65세 이상 인구비율이 높은 TAZ일수록 사고가 차량단독사고가 증가하는 것으로 나타났는데, 차량단독사고건수를 포함하고 있는 자동차 관련 총 교통사고 모형에서 증가 변수로 나타난 것은 같은 맥락에서 이해할 수 있다. 또한 서울시와 서울지방경찰청에 따르면 2014년 서울시에서 발생한 교통사고로 인한 사망자 400명 중 61세 이상 노인은 165명으로 41%를 차지하였고, 71세 이상 노인은 105명(26%), 61~70세도 60명(15%)이었다. 특히 교통사고 사망자 중 34%가 65세 이상 노인이었으며, 이 가운데 보행 중 사고가 72% 이상이었다.

토지이용 유형별로도 분석을 수행하였는데, 주거지역이나 상업지역의 면적이 넓을수록 사고가 증가하는 것으로 나타났으나, 다른 변수와의 상관성 문제로 최적모형에는 포함되지 못하였다.

보차사고모형에 포함된 아파트 면적비율(%) 더미변수의 사고감소 효과가 차대차 모형에 비해 더 크게 나타났다. 보차사고모형의 경우 아파트 비율이 70% 이상이고, 80% 미만인 TAZ는 그렇지 않은 TAZ에 비해 보행자-차량사고가 58~61% 정도 감소하는 것으로 나타난 반면, 차대차사고 모형에서는 23% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 아파트면적비율이 증가할수록 사고감소효과도 증가하는 것으로 나타났는데, 즉, 아파트면적비율이 90% 이상인 TAZ는 60%이상 70% 미만인 TAZ보다 사고감소효과가 2.4배 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 아파트 단지가 많은 지역의 공간적 특성 때문으로 판단된다. 즉, 재개발이나 재건축, 지구환경개선사업 등으로 아파트단지가 건설될 경우 차량진출입구가 주변의 교통체계 및 동선을 고려하여 계획적으로 설계됨으로써 사업시행 전에 비해 보행자-차량간 상충횟수가 현저히 감소하기 때문으로 판단된다.



〈그림 5-18〉 더미변수 변화에 따른 종속변수의 변화 비교

이동 기능을 가지는 간선도로와 접근 기능이 높은 이면도로간의 합·분류로 인해 간선도로 본선에 불필요하게 차량간 상충이 발생되고 이로 인해 사고 발생 확률이 높아질 것으로 예상하여 접속되는 두 도로간 제한속도의 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수를 모형에 포함시켰으며, 그 결과 차대차사고에만 영향을 미치는 것으로 나타났다.

도로환경 중 가장 큰 영향을 미치는 변수는 제한속도 60km/h인 도로연장비율인데 보차사고에서 가장 높게, 차대차사고에서는 상대적으로 낮게 나타났다. 제한속도 60km/h인 도로연장비율이 보차사고모형에서 가장 크게 나타난 이유는 고령 보행자의 사망사고 특성과 중앙버스전용차로 때문으로 판단된다. 무단횡단은 주로 고령자와 관련⁷⁴⁾되므로 65세 이상인구 비율변수가 보차사고에 증가변수로 작용한 것과도 연관된다. 국토부(2011)⁷⁵⁾에 따르면 도로횡단 중 고령층 보행자의 사망사고가 비 고령층에 비해 약 10배에 이른다. 또한 중앙버스전용차로가 주로 주요 간선도로에 설치되는데, 이 경우 도로 중앙에 정류장이 설치되어 횡단거리가 짧아짐으로 인해 무단횡단에 의한 사고가 많이 발생하기 때문이다. 실제로 서울시 조사에 따르면 2011~2013년간 중앙버스전용차로 정류소 1개소당 무단횡단에 의한 교통사고 발생건수는 0.81건으로 가로변 버스전용차로의 0.15건에 비해 5배 이상 높게 나타났다⁷⁶⁾. 중앙버스전용차로 변수 역시 모든 사고 유형에 포함되었으며, 도로환경변수들이 교통사고에 미치는 영향이 전반적으로 높게 나타났다.

74) 서울지방경찰청 자료에 따르면 2015년 전체 교통사고 사망자수는 372명이며, 이중 65세 이상 노인의 사망사고는 전체의 375인 138명에 이를 뿐 아니라 이중 74.6%인 103명이 무단횡단 등에 의한 보행사고인 것으로 나타났으며, 이러한 보차사고에 의한 노인 사망자수는 2013년 127명, 2014년 136명, 2015년 138명으로 꾸준히 증가하고 있다.

※ 자료 : 서울 노인 교통사망사고 현황, 이재윤기자, 연합뉴스, 20160225

75) 국토교통부, 2011, 고령자 교통사고 원인 및 원인별 대책 연구

76) 마경근, 2015. 3, 빅데이터로 분석한 서울시 교통사고 패턴과 대응, 2015. 3, <http://www.slideshare.net>에서 이용

차대차 사고모형에서 가장 큰 영향력을 갖는 변수는 토지이용 다양성 지표로 나타난 반면, 보행자-차량사고모형에서는 총 도로연장 대비 제한속도가 60km/h인 도로연장비율(%) 변수가 가장 큰 영향력을 나타내었는데, 보차 사고에 미치는 영향을 감안할 때 주요한 시사점이 있으며, 이는 Zegeer 외(2004)의 연구결과와도 일치한다. 또한 차대차사고모형과 달리 보행자-차량사고 모형에는 도로연장 대비 제한속도가 30km/h인 도로연장비율(%) 변수가 포함되지 않았다. 이 변수의 경우 다른 변수의 선택 여부에 따라 통계적 유의성이 심하게 변하여 제외시켰다. 특이한 점은 제한속도 30km/h인 도로연장비율이 높은 TAZ에서는 차대차사고가 감소하고, 제한속도가 60km/h인 도로연장비율이 높은 TAZ에서는 차대차사고가 증가하는 것으로 나타났다는 점이다. 이는 선행연구 결과와 일맥상통한다. Siddiqui(2012a)의 연구에서도 제한속도가 25mph(=40km/h)인 도로연장 길이는 교통사고의 심각도를 감소시키는 변수로 나타난 반면, 이보다 높은 제한속도 변수에서는 교통사고의 심각도를 증가시키는 변수로 나타났다. 선행연구에서 사용한 교통사고 영향변수들의 경우 대부분 교통사고를 증가시키는 방향으로 나타났으며, 본 연구에서 사용한 총차량주행거리나 버스정류장 수도 교통사고를 증가시키는 변수로 나타났다. 다만 선행연구에 따르면 통근시간이 길어지거나 대중교통 통행거리 증가시 부상을 동반한 교통사고가 감소하는 것으로 나타났으나 본 연구에서는 TAZ별 자료 구득이 어려워 분석하지 못하였다.

또한 자동차 관련 총 교통사고모형의 11개 설명변수 중 차대차사고모형과는 8개, 보차사고모형과는 5개의 변수가 동일하게 포함되어 주요 변수들에 대해 모형별 영향력을 비교해 보았다. 주택면적 중 아파트 면적비율이 70% 이상 80% 미만 여부에 대한 더미변수의 영향력은 사고 감소 측면에서 보차사고(-0.457 ~ -0.478) > 자동차 관련 사고(-0.262) > 차대차사고(-0.210) 순으로 나타났고, 도로연장 대비 제한속도 60km/h인 도로연장비율변수의 영향력은 사고 증가 측면에서 보차사고(1.216~1.357) > 자동차 관련 사고(1.020) > 차대차사고(0.696)순으로 나타났다. 제한속도 관련 변수

의 영향력이 보차사고모형에서 가장 크게 나타난 점에 주목할 필요가 있다. 중앙버스전용차로 유무에 따른 영향력은 차대차사고(0.246) > 보차사고(0.167~0.205) > 자동차 관련 사고(0.186) 순으로 나타났으며, 총차량주행거리변수는 차대차사고(0.190)와 자동차 관련 사고(0.186) > 보차사고(0.099) 순으로 나타났다.

국지적 모형의 경우에도 전역적 모형과 사고유형별 계수값의 크기 변화는 유사하게 나타났다.

<표 5-29> 사고유형별 최적의 전역적 모형 비교

| 설명변수 | | 차대차 (SEM) | 보차모형 | | 자동차 관련(SEM) |
|-----------|--------------------------------------|--------------|------------|------------|----------------|
| | | | SEM | SLM | |
| 상수 | | 2.133*** | -0.619* | -1.621*** | 1.598*** |
| 인구 환경 | ln(종사자수/인구수) | 0.191*** | - | - | - |
| | 15세 이하 인구비율(%) | - | - | - | -0.046*** |
| | 65세 이상 인구비율(%) | - | - | 0.026** | -0.031* |
| | 인구수 | - | 0.00003*** | 0.00003*** | - |
| | ln 종사자밀도 (인/㎡) | - | 0.248*** | 0.239*** | 0.214*** |
| 도시 환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.007*** | 0.005* | 0.007*** | 0.008*** |
| | 토지이용 다양성지표 | 0.910*** | - | - | - |
| | 아파트 면적비율더미_60 (60%≤아파트비율<70%이면 1) | - | -0.243*** | -0.259*** | - |
| | 아파트 면적비율더미_70 (70%≤아파트비율<80%이면 1) | -0.210*** | -0.478*** | -0.457*** | -0.262*** |
| | 아파트 면적비율더미_80 (80%≤아파트비율<90%이면 1) | - | -0.407*** | -0.382*** | - |
| | 아파트 면적비율더미_90 (아파트비율이 90%이상이면 1) | - | -0.591*** | -0.510*** | - |
| 도로 환경 | PSL 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수 | 0.008*** | - | - | - |
| | PSL 30km/h인 도로연장비율(%) | -0.286* | - | - | - |
| | PSL 50km/h인 도로연장비율(%) | - | - | - | 0.729*** |
| | PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 0.696** | 1.357*** | 1.216*** | 1.020*** |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미 (있으면 1, 없으면 0) | 0.246*** | 0.205*** | 0.167*** | 0.186*** |
| 교통 환경 | 버스정류장 수 | 0.013*** | - | - | 0.013*** |
| | ln 차량주행거리(VKT) | 0.190*** | 0.099*** | 0.098*** | 0.186*** |
| 공간 계수 | 공간오차계수(λ) | 0.324*** | 0.371*** | - | 0.323*** |
| | 공간시차계수(ρ) | - | - | 0.098*** | - |
| 모형 설명력 | TAZ 수 | 422 | 420 | 420 | 422 |
| | pseudo R^2 | 0.59 | 0.53 | 0.57 | 0.58 |
| | Log likelihood | -311.952 | -290.063 | -290.665 | -284.493 |
| | AIC | 649.905 | 606.127 | 609.330 | 594.987 |

주: ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

<표 5-30> 사고유형별 국지적 모형의 최적 모형 비교

| 설명변수 | | 차대차사고 | 보차사고 | 자동차 관련 사고 |
|--|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 상수 | | 1.848 | -1.365 | 1.342 |
| 인구 환경 | ln(종사자수/인구수) | 0.176 | - | - |
| | 15세 이하 인구비율(%) | - | - | -0.040 |
| | 65세 이상 인구비율(%) | - | 0.016 | -0.031 |
| | 인구수 | - | 0.000 | - |
| | ln 종사자밀도 (인/m ²) | - | 0.288 | 0.191 |
| 도시 환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 0.010 | 0.007 | 0.010 |
| | 토지이용 다양성지표 | 1.104 | - | 0.673 |
| | 아파트 면적비율더미_60 (60%≤아파트비율<70%이면 1) | - | -0.308 | - |
| | 아파트 면적비율더미_70 (70%≤아파트비율<80%이면 1) | -0.215 | -0.534 | -0.273 |
| | 아파트 면적비율더미_80 (80%≤아파트비율<90%이면 1) | - | -0.477 | - |
| | 아파트 면적비율더미_90 (아파트비율이 90%이상이면 1) | - | -0.596 | - |
| 도로 환경 | PSL 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수 | 0.008 | - | - |
| | PSL 30km/h인 도로연장비율(%) | -0.301 | - | - |
| | PSL 50km/h인 도로연장비율(%) | - | - | 0.587 |
| | PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 0.640 | 1.293 | 0.963 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미 (있으면 1, 없으면 0) | 0.229 | 0.183 | 0.149 |
| 교통 환경 | 버스정류장 수 | 0.014 | - | 0.014 |
| | ln 차량주행거리(VKT) | 0.219 | 0.124 | 0.214 |
| 모형 설명력 | TAZ 수 | 422 | 420 | 422 |
| | R^2 | 0.66 | 0.63 | 0.66 |
| | 수정 R^2 | 0.61 | 0.57 | 0.61 |
| | Log likelihood | -275.317 | -255.847 | -243.876 |
| | AIC | 635.360 | 600.511 | 593.684 |
| ANOVA 검정결과(유의수준) (H_0 : OLS와 GWR간에 차이가 없다) | | 기각 (0.01) | 기각 (0.01) | 기각 (0.01) |

주 1) 국지적 모형의 경우 TAZ별로 회귀식이 추정되므로 표에서 제시한 값은 계수값이 아니라 TAZ별로 추정된 계수값의 평균값임

제5절 분석결과의 활용

1. 교통사고 증감에 대한 시나리오 분석⁷⁷⁾

전역적 모형에서 선정된 최적 모형 분석결과의 활용성을 제고하기 위해 정책적으로 통제가능한 변수에 대해 시나리오 분석을 수행하여 사고감소 효과를 제시하였다. 모든 사고유형에 포함된 변수로 학교수, 주택 중 아파트면적비율 더미(아파트비율이 70% 이상 80% 미만이면 1) PSL 60km/h인 도로연장비율(%), 중앙버스전용차로 유무 더미변수 중 교통사고 증가에 대한 영향력이 크고 통제 가능한 변수의 단위 변화에 대해 시나리오 분석을 수행하였다. 분석 모형은 공간오차모형을 기준으로 하였다.

차대차사고는 제한속도 60km/h인 도로연장비율이 10% 증가할 경우 10% 증가하는 반면, 제한속도 30km/h인 도로연장비율이 10% 증가할 경우 3.3% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 제한속도 60km/h인 도로연장비율이 10% 증가할 경우 보차사고는 28.9%가 증가하는 것으로 나타나 상대적으로 높은 제한속도를 가진 도로연장비율이 보차사고에 훨씬 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 차대차사고의 경우 속도 외에도 다른 영향요인이 많기 때문에 보차사고에 비해 제한속도에 따른 도로연장비율의 영향이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 제한속도가 증가할 때 차대차사고에 비해 보차사고가 더 많이 증가한다는 점에서 제한속도 하향화 정책의 필요성을 찾을 수 있을 것이다.

중앙버스전용차로가 신설될 경우 차대차사고는 약 28%, 보행자-차량 사고는 약 23% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 주택 재개발이나 재건축을 통해 TAZ내 주택면적 중 아파트면적 비율이 증가할 경우 모든 사고유형이 감소하는 것으로 나타났으며, 보차사고의 감소효과가 가장 크게 나타났다. 또한 아파트면적비율에 따라 보차사고의 감소효과가 달라지는 것으로 나타났다. 다만 아파트면적비율의 경우 선행연구 결과가 부족하고

77) 본 절에서 제시하는 사고 증가 및 감소영향은 Wier 외(2009)의 식을 참조하였다.

특히 서울시와 같이 TAZ내 아파트 비율이 높은 외국 도시가 많지 않은 점을 감안할 때 정책적 해석에 주의할 필요가 있고, 향후 연구를 통해 이 변수가 다른 도시에서도 통계적으로 유의한지를 확인해 볼 필요가 있다.

<표 5-31> 공간적 요인 변화에 따른 교통사고 영향 분석

| 공간적 요인 | 변화시나리오 | 교통사고 유형 | 사고 영향 |
|-----------------------|----------|-----------|--------|
| ln총차량주행거리 | 5% 증가 | 차대차사고 | △0.95% |
| | | 보차사고 | △0.50% |
| | | 자동차 관련 사고 | △0.93% |
| | 10% 증가 | 차대차사고 | △1.90% |
| | | 보차사고 | △0.99% |
| | | 자동차 관련 사고 | △1.86% |
| ln중사자밀도 | 5% 증가 | 보차사고 | △1.24% |
| | 10% 증가 | | △2.48% |
| PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 5% 증가 | 차대차사고 | △5.03% |
| | | 보차사고 | △14.4% |
| | | 자동차 관련 사고 | △8.87% |
| | 10% 증가 | 차대차사고 | △10.1% |
| | | 보차사고 | △28.9% |
| | | 자동차 관련 사고 | △17.7% |
| 중앙버스전용차로 유무 더미(있으면 1) | 미설치 → 설치 | 차대차사고 | △27.9% |
| | | 보차사고 | △22.8% |
| | | 자동차 관련 사고 | △20.4% |
| PSL 30km/h인 도로연장비율(%) | 5% 증가 | 차대차사고 | ▼1.66% |
| | 10% 증가 | | ▼3.31% |
| PSL 50km/h인 도로연장비율(%) | 5% 증가 | 자동차 관련 사고 | △5.37% |
| | 10% 증가 | | △10.7% |

주 1) 분석모형은 공간오차모형(SEM)을 기준으로 하였음

2) Wier 외(2009)가 제시한 산정식에 따르면, ln을 취하지 않은 버스정류장 수의 경우 자동차 관련 교통사고 최적모형(SEM)의 계수값이 0.014이므로 만약 버스정류장이 10개소 증가한다고 가정하면 자동차 관련 사고는 $\exp(10 \times 0.014) = 1.15$ 이므로 약 15% 증가하는 것으로 나타났다. ※ Wier의 모형형태는 <표 2-6>에 제시되어 있음

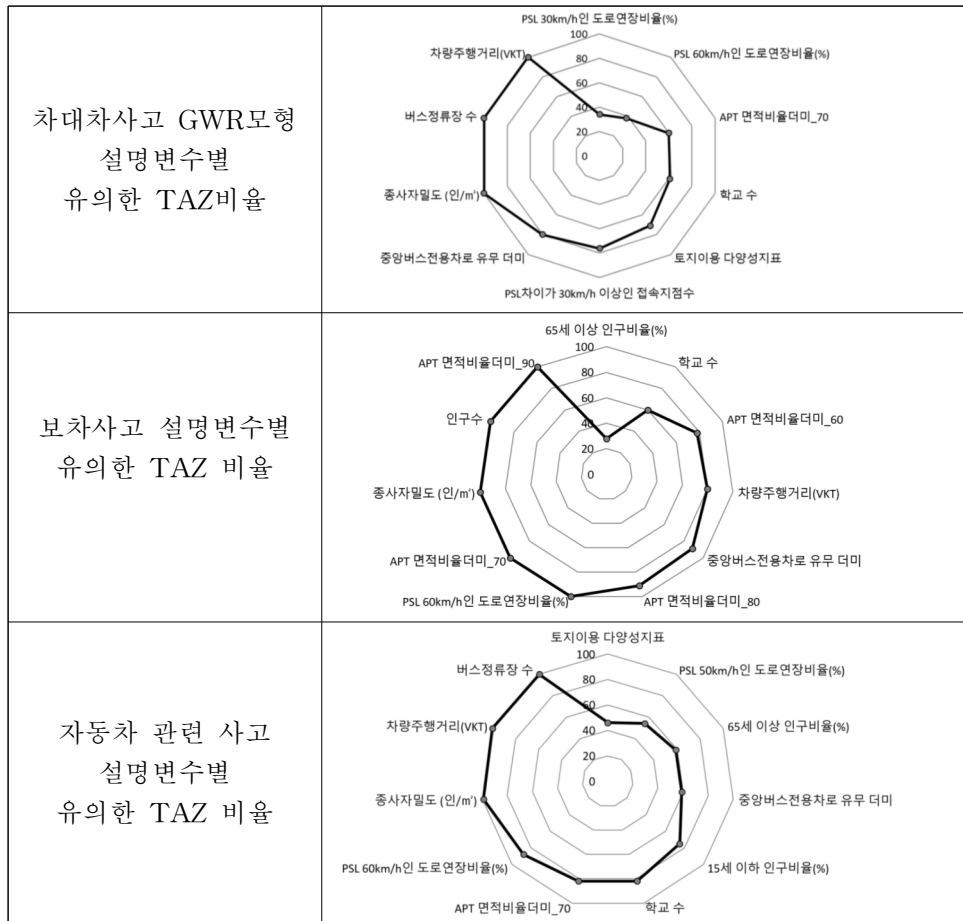
2. GWR분석결과의 활용

국지적 공간모형인 GWR의 경우 각 TAZ별로 회귀식이 추정되므로 이를 통해 사고유형 및 TAZ별로 유의한 변수들을 살펴볼 수 있다. <표 5-32>과 같이 설명변수가 전체 서울시의 423개 TAZ중 몇 개의 TAZ에서 통계적으로 유의한지 알 수 있는데, 통계적으로 유의한 TAZ가 많은 변수는 지역마다 영향이 달라지는 이질성이 큰 변수임을 알 수 있다.

<표 5-32> GWR 모형별로 설명변수가 유의($\alpha=0.1$)한 TAZ 비율 검토

| 설명변수 | | 차대차 | | 보행자-차량 | | 전체 사고 | |
|----------|--------------------------------------|-----|-------|--------|-------|-------|-------|
| | | TAZ | 비율(%) | TAZ | 비율(%) | TAZ | 비율(%) |
| 인구 환경 | ln(종사자수/인구수) | - | - | - | - | - | - |
| | 15세 이하 인구비율(%) | - | - | - | - | 315 | 75 |
| | 65세 이상 인구비율(%) | - | - | 118 | 28 | 250 | 59 |
| | 인구수 | - | - | 420 | 100 | - | - |
| | ln 종사자밀도 (인/m ²) | 422 | 100 | 420 | 100 | 418 | 99 |
| 도시 환경 | 학교 수(어린이집~초등학교) | 258 | 61 | 253 | 60 | 344 | 82 |
| | 토지이용 다양성지표 | 301 | 71 | - | - | 193 | 46 |
| | 아파트 면적비율더미_60 (60%≤아파트비율<70%이면 1) | - | - | 327 | 78 | - | - |
| | 아파트 면적비율더미_70 (70%≤아파트비율<80%이면 1) | 254 | 60 | 420 | 100 | 348 | 82 |
| | 아파트 면적비율더미_80 (80%≤아파트비율<90%이면 1) | - | - | 383 | 91 | - | - |
| | 아파트 면적비율더미_90 (아파트비율이 90%이상이면 1) | - | - | 420 | 100 | - | - |
| 도로 환경 | PSL 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수 | 319 | 76 | - | - | - | - |
| | PSL 30km/h인 도로연장비율(%) | 144 | 34 | - | - | - | - |
| | PSL 50km/h인 도로연장비율(%) | - | - | - | - | 227 | 54 |
| | PSL 60km/h인 도로연장비율(%) | 162 | 38 | 420 | 100 | 373 | 88 |
| | 중앙버스전용차로 유무 더미 (있으면 1, 없으면 0) | 337 | 80 | 375 | 89 | 249 | 59 |
| 교통 환경 | 버스정류장 수 | 422 | 100 | - | - | 422 | 100 |
| | ln 차량주행거리(VKT) | 422 | 100 | 335 | 80 | 422 | 100 |

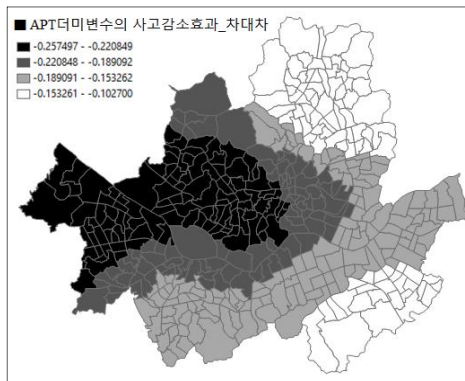
또한 GWR분석 결과를 통해 TAZ에서 발생한 교통사고 유형별로 설명 변수의 국지적 유의성이 달라짐을 확인할 수 있다. <그림 5-19>와 같이 TAZ별 유형별 교통사고의 경우 동일한 설명변수로 설명되는 부분과 서로 다른 변수에 의해 설명되는 부분을 시각적으로 확인할 수 있다.



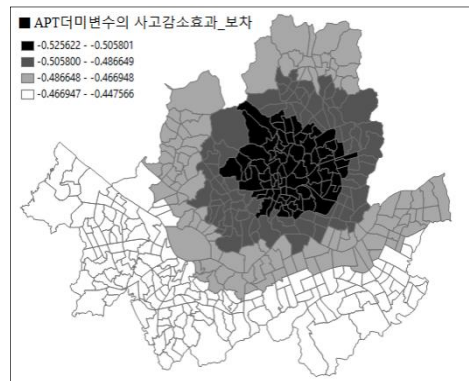
<그림 5-19> 사고유형별 · 변수별 통계적으로 유의한 TAZ 점유율(%)

또한 GWR분석 결과는 TAZ에 대한 설명변수의 국지적 영향을 시각적으로 표현할 수 있는 장점이 있다. 주택면적 중 아파트면적 비율의 70% 이상 여부에 따른 더미변수는 모든 사고유형모형에서 사고 감소에 영향을 미치는 것으로 나타나 모형별 국지적 영향력의 변화를 살펴보았다.

<그림 5-20>과 <그림 5-21>에서 보는 바와 같이 아파트 변수의 국지적 영향이 차대차사고모형과 보차사고모형에서 다르게 나타남을 알 수 있다. 즉, 차대차사고모형에서는 강서, 마포, 양천, 서대문, 중구, 용산구 일대와 구로구 및 은평구 일부에서 아파트비율더미변수에 의한 사고감소가 효과가 높게 나타난 반면, 보차사고모형에서는 성북, 동대문, 종로, 중구, 성동구 등에서 사고감소효과가 높게 나타났다.



〈그림 5-20〉 아파트더미변수의 영향_차대차



〈그림 5-21〉 아파트더미변수의 영향_보차

이에 사고유형 모형별로 아파트변수가 미치는 영향이 상위 25%에 해당하는 TAZ와 하위 25%에 해당하는 TAZ의 기초통계량 비교를 통해 인구 및 도로환경에 어떠한 차이가 있는지를 살펴보았다. 차대차사고에 대한 아파트 비율의 영향 정도가 상위 25% TAZ⁷⁸⁾는 하위 25% TAZ 보다 총차량주행 거리는 더 높은 반면, 하위 25% TAZ는 제한속도30km/h인 도로연장비율과 인구수 및 아파트 비율 등이 상위 25%보다 높게 나타났다. 보차사고에 대한 아파트비율의 영향정도가 하위 25%인 TAZ는 모든 지역별 특성에서 상위 25%인 TAZ⁷⁹⁾ 보다 높은 수치를 나타내었다.

78) 차대차사고에 대한 아파트비율더미변수의 영향력이 상위 10개에 속하는 TAZ는 상암동, 염창동, 등촌 제1동, 가양 제1, 2, 3동, 망원2동, 성산2동 등 서울 서부권 지역으로 나타났으며, 이들 지역은 아파트 비율이 62%를 넘지 않는 TAZ에 비해 정도 차대차 사고가 29% 정도 덜 발생하는 것으로 나타났다.

<표 5-33> 아파트비율 더미변수의 차대차사고 감소영향에 대한 지역별 특성 검토

| 지역 특성 | 하위 25% 지역 (TAZ=86) | | | | 상위 25% 지역 (TAZ=109) | | | |
|----------------|--------------------|--------|------|-------|---------------------|--------|------|-------|
| | Mean | Std.D. | Min | Max | Mean | Std.D. | Min | Max |
| ln(총차량주행거리) | 4.72 | 1.01 | 2.73 | 8.01 | 4.99 | 0.92 | 1.89 | 7.06 |
| PSL30km/h 연장비율 | 0.43 | 0.22 | 0 | 1.00 | 0.29 | 0.18 | 0 | 0.77 |
| PSL50km/h 연장비율 | 0.06 | 0.10 | 0 | 0.36 | 0.05 | 0.12 | 0 | 0.65 |
| PSL60km/h 연장비율 | 0.15 | 0.10 | 0 | 0.65 | 0.16 | 0.12 | 0 | 0.67 |
| 인구수 | 25431 | 7605 | 4168 | 46044 | 20916 | 10411 | 809 | 49385 |
| 아파트 면적비율 | 0.58 | 0.34 | 0 | 1 | 0.45 | 0.29 | 0 | 1 |

주 : 하위 25%는 차대차사고에 대한 아파트변수의 계수값이 -0.153261 이하인 TAZ를 말하며, 상위 25%는 -0.220849 이상인 TAZ를 말한다.

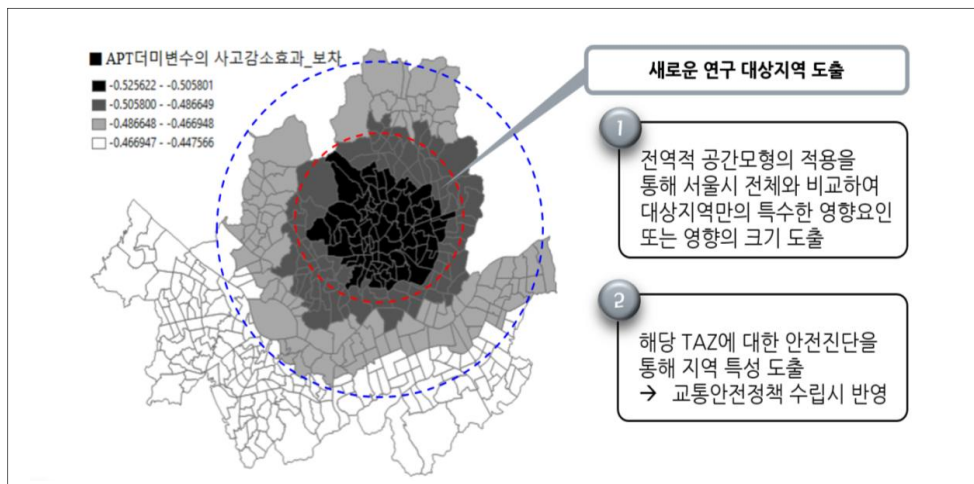
<표 5-34> 아파트비율 더미변수의 보차사고 감소영향에 대한 지역별 특성 검토

| 지역 특성 | 하위 25% 지역 (TAZ=162) | | | | 상위 25% 지역 (TAZ=71) | | | |
|----------------|---------------------|--------|------|-------|--------------------|--------|------|-------|
| | Mean | Std.D. | Min | Max | Mean | Std.D. | Min | Max |
| ln(총차량주행거리) | 5.17 | 0.91 | 1.89 | 8.01 | 4.60 | 0.77 | 0.83 | 6.40 |
| PSL30km/h 연장비율 | 0.33 | 0.19 | 0 | 0.86 | 0.29 | 0.20 | 0 | 0.84 |
| PSL50km/h 연장비율 | 0.04 | 0.10 | 0 | 0.65 | 0.03 | 0.08 | 0 | 0.37 |
| PSL60km/h 연장비율 | 0.18 | 0.14 | 0 | 0.67 | 0.12 | 0.09 | 0 | 0.46 |
| 인구수 | 24657 | 7449 | 4168 | 49385 | 19105 | 9036 | 1426 | 39480 |
| 아파트면적 비율 | 0.54 | 0.30 | 0 | 1 | 0.45 | 0.28 | 0 | 0.99 |

주 : 하위 25%는 차대차사고에 대한 아파트변수의 계수값이 -0.466947 이하인 TAZ를 말하며, 상위 25%는 0.505801 이상인 TAZ를 말한다.

79) 보차사고에 대한 아파트비율더미변수의 영향력이 상위 10개에 속하는 TAZ는 돈암제1동, 동선동, 종암동, 창신 제 2, 3동, 용신동, 삼선동, 안암동, 제기동, 보문동 등 서울 북부권 지역으로 나타났으며, 이들 지역은 아파트 비율이 62%를 넘지 않는 TAZ에 비해 정도 차대차 사고가 69% 정도 덜 발생하는 것으로 분석되어 차대차사고에 대한 사고감소효과보다 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 반면 하위 10개에 속하는 TAZ는 문래동, 신도림동, 양평제1동, 신정 6, 7동, 목1동, 신정 1, 2, 4, 7동으로 나타났다.

이와 같은 지역별 분석 결과를 토대로 새로운 연구대상지역을 도출하고 이를 대상으로 전역적 공간모형의 적용하여 지역에 특화된 새로운 변수를 도출할 수도 있고 서울시 전체와 비교하여 차이점을 검토해 볼 수도 있다. 또한 해당 TAZ에 대한 전문가 안전진단을 통해 지역 특성을 도출하고 이를 국지적 교통안전정책 수립시 반영할 수도 있을 것으로 판단된다.



〈그림 5-22〉 GWR 결과 활용_새로운 연구대상지역 도출

3. 모형의 공간적 안정성 검증

1) 검증방법

본 연구에서 추정한 서울시의 교통사고 유형별 분석모형⁸⁰⁾에 포함된 영향요인들이 공간적 대상이 달라질 때도 안정적으로 종속변수를 설명하는지 여부를 판단하기 위해 서울시를 무작위로 두 그룹으로 이분하여 모형을 분석하고 우도비(LR; Log-likelihood Ratio) 검정을 수행하였다.

80) 다만, 본 연구에서 서울시 교통사고 유형별 사고에 대한 최적모형으로 선정한 공간모형의 경우 공간가중치행렬(W)을 오차항과 시차항에 적용하여 오차의 독립성 가정을 충족시키나, 계수 안정성 검정을 위한 임의의 두 그룹으로 구성시 W 생성이 어려운 측면이 있다. 왜냐하면 인접하지 않을 경우 W 를 이용한 공간간의 상관성을 정의하기가 어렵기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 기준모형(OLS)을 대상으로 계수의 안정성을 측정하였음을 밝힌다.

$$LR = -2(L_f - L_{g1} - L_{g2}) \quad \text{식 (5)}$$

LR값은 자유도 J 에서 x^2 분포를 따르며, J 는 $J = K_{g1} + K_{g2} - K_f$ 이고, K_f 는 전체 모형에서 포함된 변수 개수, K_{g1} , K_{g2} 는 각각 서브모형 1과 2에 포함된 변수 개수를 의미한다. L_f , L_{g1} , L_{g2} 는 각 모형의 우도값이다. 또한 이때 귀무가설은 전체 모형은 서브모형과 차이가 없다는 것이다. 만약 높은 신뢰수준에서 귀무가설을 기각할 경우 이는 두 그룹은 같지 않다는 통계적 증거이며, 이 경우에도 그 자체로 충분히 의미있는 결과(Ulfarsson and Mannering, 2004)이다.

본 연구에서는 서울시의 TAZ를 이분할 기준으로 여러 가지로 설정하고 이에 대해 모형의 공간적 안정성을 검증하였다. 본 연구에서는 총 5가지의 기준을 통해 서울시를 두 개의 그룹으로 구분하였다. 첫번째는 난수 발생을 통해 무작위로 서울시 TAZ를 이분하였다. 일반적으로 샘플 데이터가 크고 무작위로 이분된 두 그룹의 경우 점근적으로 일치한다. 그러나 특정변수나 특성에 따라 구분할 경우에는 반드시 일치하지는 않을 것이다. 따라서 본 연구에서는 모형에 포함된 더미변수 중 아파트면적 비율, 지리적 특성으로는 한강 이남 및 이북지역간, 사회경제적 특성으로는 지가를 기준으로 한 공간적 안정성을 살펴보았다. 일부 연구⁸¹⁾에서는 성별(gender)에 따른 사고심각도모형에 대해 LR검정을 수행하였다.

<표 5-35>에 의해 이분된 TAZ별 기초통계량은 부록에 수록하였으며, 특정 변수가 아니라 무작위에 의해 이분된 TAZ간 기초통계량의 경우 상대적으로 그룹간 차이가 적음을 알 수 있다. 아파트비율이 62%보다 낮은 경우, 평균지가가 높은 경우 교통사고가 평균적으로 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 이분 기준에 따른 TAZ의 분포를 <그림 5-23~26>과 같이 확인하였다.

81) Ulfarsson과 Mannering(2004)은 보행자-차량사고의 부상심각도에 대한 모형을 분석하고 이를 남자와 여자로 이분한 그룹간 차이에 대한 LR 검정을 통해 사고 심각도에 대해 남자와 여자그룹은 귀무가설을 기각함으로써 통계적으로 유의한 차이가 있다고 제시하였다.

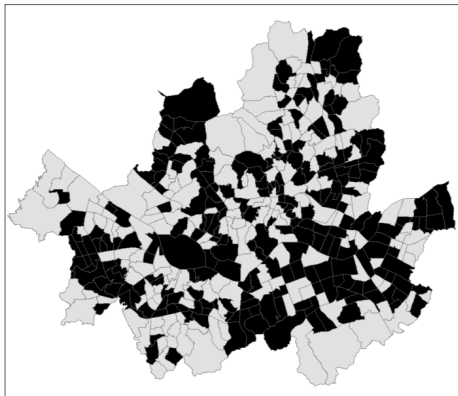
<표 5-35> 공간적 안정성 검증을 위한 TAZ 이분방법

| 구분 기준 | TAZ 이분방법 |
|------------|---|
| 무작위 | ① 난수 발생을 통해 두 그룹으로 이분 |
| 모형에 포함된 변수 | ② 주택면적 중 아파트 면적 비율 62% ¹⁾ 이상 여부 더미 |
| 지리적 특징 | ③ 한강을 기준으로 TAZ를 이분화하 |
| 사회경제적 특성 | ④ 서울시 평균지가 이상 여부를 기준으로 TAZ를 이분화 |

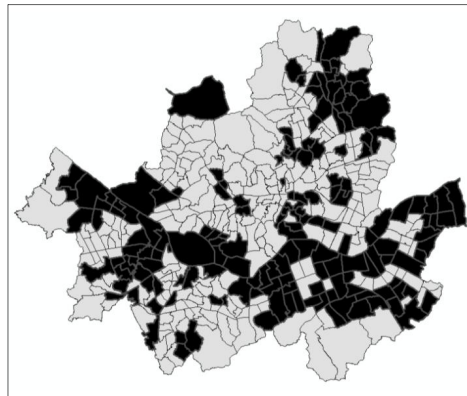
주 1) 아파트면적비율의 경우 62%를 변곡점으로 교통사고에 대한 영향 부호가 바뀌므로 이를 중심으로 공간적 안전성 그룹을 설정하였음

<표 5-36> 이분 기준별 주요 기초통계량 비교

| 사용된 변수 | 무작위 | | 아파트면적 비율 62% | | 평균지가 | | 한강 기준 | |
|-----------------------|-------|-------|--------------|------|------|------|-------|------|
| | 그룹 1 | 그룹 2 | 이상 | 이하 | 이상 | 미만 | 강남 | 강북 |
| TAZ 수 | 219 | 204 | 167 | 256 | 135 | 289 | 201 | 222 |
| $\ln(\text{차대차사건수})$ | 3.76 | 3.72 | 3.75 | 3.74 | 4.07 | 3.59 | 3.80 | 3.69 |
| $\ln(\text{보차사건수})$ | 2.91 | 2.81 | 2.65 | 3.01 | 3.00 | 2.80 | 2.88 | 2.85 |
| $\ln(\text{총 사고건수})$ | 4.18 | 4.12 | 4.09 | 4.19 | 4.43 | 4.02 | 4.20 | 4.11 |
| $\ln(\text{총차량중행거리})$ | 22.36 | 21.36 | 5.09 | 4.86 | 5.27 | 4.80 | 5.25 | 4.68 |

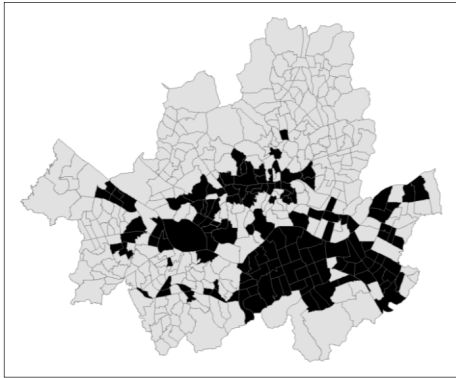


<그림 5-23> 무작위에 의한 TAZ 구분



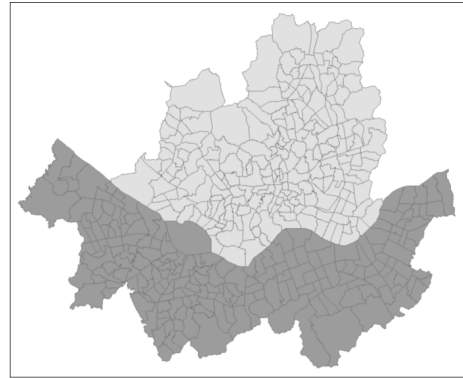
<그림 5-24> 아파트면적 비율에 의한 구분

주: 검정 TAZ는 아파트면적 비율이 62% 이상



〈그림 5-25〉 평균지가 이상 여부 더미

주: 검정 TAZ는 평균지가보다 높음



〈그림 5-26〉 한강에 의한 지역 구분

주: 진한색 TAZ는 한강 이남 지역

2) 우도비 검정 결과

다양한 기준에 따라 이분된 그룹간 공간적 안정성을 살펴본 결과, 무작위적으로 구분한 경우 모든 사고 유형에서 귀무가설을 기각하지 못함으로써 공간적 안정성이 있는 것으로 나타났으며, 특히 보차사고의 경우 강북지역과 강남지역간에 안정성이 있는 것으로 나타났다. 그러나 이외에 아파트면적비율 더미나 평균지가에 의한 구분에 대해서는 모든 사고유형에서 귀무가설을 기각하여 공간적 안정성이 없다고 말할 수 있다.

<표 5-37> 서울시 교통사고 유형별 기준모형의 우도비 검정 결과

| 모형 | 이분 기준 | | TAZ | 우도비(자유도) | 귀무가설 |
|------------------|-------|------|-----|-----------|-------|
| 차대차사고 | 무작위 | 그룹 1 | 204 | 11.29(11) | 기각 못함 |
| | | 그룹 2 | 219 | | |
| 보행자-차량 사고 | 무작위 | 그룹 1 | 204 | 6.73(9) | 기각 못함 |
| | | 그룹 2 | 219 | | |
| | 한강 기준 | 강북지역 | 222 | 7.71(9) | 기각 못함 |
| | | 강남지역 | 201 | | |
| 자동차 관련 총 교통사고 | 무작위 | 그룹 1 | 204 | 15.05(15) | 기각 못함 |
| | | 그룹 2 | 219 | | |

제6장 결론 및 향후 연구과제

제1절 결론 및 정책적 함의

통계청에 따르면 우리나라는 2018년에 고령사회(고령인구 비율이 14% 이상)에 진입한 뒤 2026년에는 초고령사회에 진입하며, 서울시 역시 2019년에는 고령사회로 진입한 뒤 2026년에는 초고령사회가 될 것으로 예상된다. 이러한 인구구조의 변화에 따라 교통정책의 패러다임 또한 기존의 혼잡 완화를 통한 교통소통 원활에서 교통안전 및 교통복지로의 전환이 예상된다. 이에 본 연구에서는 서울시를 대상으로 공간계량모형을 통해 유형별 교통사고 발생에 영향을 미치는 도시공간 및 환경적 특성을 분석하는 과정을 정립하였고, 분석 결과로서 교통안전 관련 정책 수립에 근거가 될 실증적 결과를 제시하였다는 점에서 본 연구의 의의와 정책적 함의를 찾을 수 있다.

본 연구는 서울시에서 발생한 유형별 교통사고(차대차, 보행자-차량, 자동차 관련 교통사고)에 영향을 미치는 공간요인이 다를 것이라는 가설 하에 각 사고 유형을 종속 변수로 하고, 인구·도시·도로·교통환경 등의 다양한 요인을 설명변수로 하는 공간모형⁸²⁾을 설정하였으며, 모형 분석은 2010년 서울시 교통사고 데이터를 토대로 수행되었다. 분석을 위한 기준모형으로 일반회귀모형(OLS)을 설정하고 대안모형으로는 전역적 공간계량모형인 공간시차모형(SLM)과 공간오차모형(SEM), 일반공간모형(General Spatial Model)과 국지적 공간계량모형인 지리적 가중회귀분석(GWR)을 설정하였다. 모형의 설명력과 오차율을 기준으로 할 때 서울시

82) 선행연구 결과, 이륜차 및 자전거 관련사고는 사고 심각도 및 영향 요인이 자동차와 다르게 나타나 본 연구에서는 이륜차 및 자전거 등과 관련된 교통사고를 제외하고 순수하게 자동차와 관련된 교통사고만을 분석 대상으로 하였다. 또한 공간분석모형의 함수형태에 따라 종속변수에 자연로그를 취하게 되는데, 차량단독사고의 경우 전체 TAZ의 40%가 자연로그를 취했을 때 0의 값을 가지게 되어 본 연구에서는 제외하였다.

유형별 교통사고의 발생 특성을 분석할 최적 모형은 GWR과 공간오차모형이 선정되었다. 모형 분석 결과, 서울시의 공간적 특성을 나타내면서 기존 연구와는 차별화된 다양한 공간요인들이 유형별 교통사고에 미치는 영향력을 제시하였으며, 이를 토대로 공간요인 변화에 따른 시나리오 분석 등의 활용방안을 제시하였다.

본 연구의 주요 연구결과 및 정책적 함의는 다음과 같다.

첫째, 서울시 교통사고에 영향을 미치는 새로운 변수들을 발굴하고 이 변수들의 영향력을 계량화한 점이다. 본 연구에서는 교통사고에 영향을 미치는 공간 요인들에 대해 증거에 기반(evidence-based)한 실증연구를 진행함으로써 기존에는 막연한 예상에 그쳤던 공간요인들과 교통안전 정책적으로 통제 가능한 변수를 발굴하고 이의 통계적 유의성을 확보함으로써 안전한 도시공간을 조성하는데 필요한 변수와 그 영향을 계량적으로 제시하였다. 예를 들어, 서울시와 같이 아파트가 많고 다양한 토지이용이 복합적으로 고밀화되어 있는 특성을 반영하는 아파트면적비율 변수 더미와 토지이용 다양성 지표 등을 통해 서울시의 특수한 도시공간 환경이 교통사고에 미치는 영향력을 제시하였다. 우리나라는 국가 소득 대비 교통사고 비율이 높음에도 불구하고⁸³⁾하고 교통안전 정책 수립에 필요한 데이터 분석 연구의 저변이 매우 부족한 실정으로 특히 GIS 데이터를 기반으로 한 연구의 다양성 확보가 필요하다는 점에서 본 연구의 정책적 의의를 찾을 수 있다.

둘째, 본 연구를 통해 서울시에서 발생한 차대차사고, 보행자-차량사고, 자동차 관련 사고별로 영향을 미치는 공간요인이 달라짐을 확인하였다. 본 연구의 분석결과에 따르면, 모든 유형의 사고모형에 동일하게 영향을 미치는 변수는 학교수, 주택 중 아파트면적비율 더미, 제한속도 60km/h

83) OECD(2016)에 따르면, 우리나라의 자동차 1만대당 교통사고 사망자수(인/년)는 2.6인으로 터키의 2.7인과 유사하나 터키의 GDP는 우리나라 GDP의 73% 수준(2010년 기준)에 불과하며, 우리나라의 인구 10만명당 사망자수(인/년)는 11.3인으로 네덜란드의 3.3인보다 3배 이상 높으나 네덜란드의 GDP는 우리나라의 77%수준에 불과하기 때문이다.

인 도로연장비율(%), 중앙버스전용차로 유무 더미, 차량주행거리 등으로 나타났다. 이 중 주택면적 중 아파트면적비율이 증가함에 따라 모든 유형의 교통사고가 감소하였으며, 특히 보차사고의 감소효과가 가장 크게 나타났는데, 이는 재개발, 재건축 및 지구환경개선사업의 시행으로 단지의 차량진출입이 제한됨으로써 기존 지역의 차대차 상충지점이 획기적으로 감소했기 때문으로 판단된다. 반면, 중앙버스전용차로의 유무는 차대차사고가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이외에 차대차사고는 월평균 가구소득과 인구수 대비 종사자비가 높을수록, 토지이용의 다양성이 많아질수록 증가하는 것으로 나타났다. 또한 제한속도 차이가 30km/h 이상인 도로간 접속지점 수와 버스정류장수 역시 사고를 증가시키는 영향요인으로 분석되었다. 이에 반해 보차사고는 65세 이상인구 비율이 높을수록, 종사자밀도가 높을수록 증가하였으나, 토지이용 다양성지표는 통계적 유의성이 사라졌다. 이를 통해 대상지역의 유형별 사고 발생 특성을 고려한 맞춤형 교통안전개선대책의 적용할 수 있다는 점에서 정책적 활용도를 높일 수 있다. 또한 차대차사고 발생에 도시환경지표인 토지이용 다양성 지표가 미치는 영향이 가장 크고 보차사고는 도로환경지표인 제한속도별 도로연장비율변수의 영향이 가장 큰 것으로 나타나 교통운영체계를 교통안전측면에서 개선시 보차사고의 발생 특성에 중점적 검토가 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구의 결과를 통해 교통안전정책을 뒷받침할 실증적 근거를 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 서울시에서는 2014년에 5대 분야 11개 세부정책을 포함한 「교통사고 사상자 줄이기 종합대책(‘14~’20)」을 발표하고 시행해 오고 있다. 여기에는 버스전용중앙차로 운영 진단, 도로 제한속도(PSL) 감소, 65세 이상 운전자 정밀적성검사 시행 등이 포함되어 있는데, 본 연구에서 발굴하여 분석모형에 포함시킨 변수들을 활용하여 정량적 근거를 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들어, 버스전용차로의 사고 발생 영향을 사고 유형별로 제시할 수 있고, 제한속도 감소에 따른 차대차사고의 정량적 감소 효과를 제시할 수 있으며, 65세 이상

인구와 사고와의 관계를 제시할 수 있다. 다만, 보차사고모형에서는 교통사고 증가변수로 포함된 65세 이상 인구비율 변수가 자동차 관련 교통사고모형에서 교통사고 감소변수로 포함된 것은 고령인구 증가로 고령자와 관련된 부상 및 사망사고가 증가⁸⁴⁾하고 있기 때문으로 판단된다.

넷째, 본 연구 결과에 따르면 제한속도 60km/h인 도로연장비율이 증가할 때 보차사고가 가장 크게 증가하는 것으로 나타난 반면, 제한속도 30km/h인 도로연장비율이 증가할 때 차대차사고가 감소하는 것으로 나타나 도시부 도로의 제한속도에 대한 하향 규제가 교통사고를 감소시키는데 효과가 있음을 정량적으로 확인하였다. 이러한 결과는 최근 생활도로에 대한 외국의 정책 동향⁸⁵⁾ 및 OECD (2016) 권고사항⁸⁶⁾과 맥락을 같이 하고 있음을 고려할 때 정책적 활용도가 클 것으로 판단된다. 따라

84) 부록에 수록된 차량단독사고모형에서는 65세 이상 인구비율이 높은 TAZ일수록 차량단독사고가 증가하는 것으로 나타났는데, 이를 포함하고 있는 자동차 관련 교통사고 모형에서 증가 변수로 나타난 것은 같은 맥락에서 이해할 수 있다. 또한 서울시와 서울지방경찰청에 따르면 2014년 서울시의 교통사고 사망자 400명 중 61세 이상 노인은 165명으로 41%를 차지하였고, 71세 이상 노인은 105명(26%), 61~70세도 60명(15%)이었다. 특히 교통사고 사망자 중 34%가 65세 이상 노인이었으며, 이 가운데 보행 중 사고가 72% 이상이었다.

85) 주거지역 내 생활도로에 대한 대표적인 속도저감정책으로 네덜란드의 본엘프(Woonerf), 일본의 커뮤니티도로, 독일/스위스/오스트리아의 템포 30 존(Tempo 30 zone)의 벤치마킹을 통해 생활도로의 속도저감정책이 시행되었다. 그러나 최근에는 녹색교통의 확산 및 교통안전을 위해 유럽 및 호주 등을 중심으로 Shared Space 개념으로 단순히 주거지역이 아닌 도시지역 전체의 속도를 제한하려는 노력이 이루어지고 있다. 특히 호주의 경우 최대설계속도를 20km/h로 낮추는 Shared Space 디자인 지침을 제시하고 있다.

※ 자료 : 국토해양부, 2012, 보행자우선도로의 설치 및 관리기준에 관한 연구

86) OECD는 한국의 도로안전에 관한 보고서(2016)에서 도시내 제한속도(PSL)를 50km/h 이하로 낮출 것을 권고하고 있는데 그 이유로, 첫째, 전 세계적으로 도시내 제한속도는 하향화 추세로 프랑스 파리는 전체 도로의 1/3수준의 도로가 30km/h 이상 달릴 수 없으며, 스코틀랜드 에든버러는 2014년 시내도로의 80%를 제한속도 20mph(32km/h) 도로로 정비키로 하였다. 둘째, 도시내 도로의 제한속도가 60km/h 이상인 국가는 OECD 38개국 중 한국과 칠레에 불과하다. 칠레는 OECD 가입 이후 인구 10만명당 전체 교통사고 사망자수 1위를 차지해온 국가이다. 셋째, 30km/h 이하 차량과 부딪칠 경우 보행자 생존율은 90% 이상이나 45km/h일 때 50% 이하로 급감하기 때문이라고 밝히고 있다.

서 서울시에서도 교통안전성을 확보하기 위해서는 제한속도 하향화의 정책적 추진을 고려해 볼 필요가 있다. 또한 기존의 통행속도 증가를 통한 교통소통 위주의 개선사업이 혼잡 완화나 혼잡 비용 감소 등의 목표에만 치중하고 상대적으로 교통안전은 소홀하게 다루었는지에 대한 성찰도 필요하다. 이와 관련하여 Shefer and Rietveld(1997)는 차량 친화적인 교통소통대책이 교통안전측면에서는 바람직하지 않은 결과를 가져올 수 있다고 주장하였다. 다만, 교통혼잡에 따른 외부 효과 역시 반드시 줄여야 하므로 양자간의 합리적인 판단이 요구된다.

다섯째, 교통안전개선사업의 우선순위를 도출하는데 기반이 되는 모형식을 제공하였다. 미국의 Highway Safety Manual(AASHTO, 2010)에서는 교통사고가 발생한 공간적(도시부, 지방부) 및 도로별(연속류, 단속류) 특성을 고려한 안전성능함수(Safety Performance Function)와 사고보정계수(Crash Modification Factor)를 제공한다. 또한 모형에서 도출된 결과를 기반으로 교통안전개선지수⁸⁷⁾의 개념을 도입하여 사업우선순위를 도출하는데 활용하고 있다. 그러나 이를 위해서는 SPF의 구축이 선행되어야 한다. 이에 본 연구에서 제시한 최적 모형을 SPF로 설정하고 실제 사고건수와 차이 비교를 통해 TAZ별 교통안전개선사업의 우선순위를 도출하고 정책에 반영할 수 있다. 또한 이외에 교통문화지수 산정시 본 연구에서 제시한 최적 모형에 포함된 독립변수를 접목시키는 방안도 정책적으로 고려해볼 수 있다.

여섯째, 전역적 모형에 포함된 변수의 전역적 영향을 GWR에서 추정된 각 TAZ별 국지적 영향과 비교하였다. 전역적 모형에서 높은 영향력을 나타낸 토지 다양성 지표의 경우 국지적 모형에서는 추정된 계수의 범위가 가장 넓은 것으로 나타났다. GWR 분석결과는 이러한 TAZ의 국지적 차

87) 교통안전개선지수는 교통량과 HSM에서 제시한 회귀식을 토대로 추정된 사고건수와 실제 사고건수간의 차이로서 이 차이가 커질수록 교통안전의 잠재적 개선 가능성이 높다고 판단한다. (관련 자료 참조 : Frank Gross, Bhagwant Persaud, and Craig Lyon, 2010. A Guide To Developing Quality Crash Modification Factors, FWHA, pp.22)

이를 파악하는데 용이하며 이는 영향력이 크게 나타난 지역에 대해 세부적이고 구체적인 교통사고 발생 특성을 분석하는 새로운 연구를 위한 초석을 제공한다는 점에서 매우 중요할 뿐 아니라 정책적 활용도가 매우 높다고 볼 수 있다.

본 연구를 통해 도시의 공간적 환경 및 다양한 활동들이 교통사고에 미치는 영향을 증명하였으며, 이를 통해 결국 교통안전은 도시계획단계에서부터 염두에 두어야 할 주요 계획 요소라는 점을 다시 한 번 확인시켜주었다. 향후 IT기술 발달에 따라 향후 사람들의 생활모습이나 도시공간 변화가 예상됨에 따라 도시공간구조의 재편에 따른 변화, 인구 이동 등 다양한 교통정책의 변화에 따른 교통사고의 영향을 파악하기 위한 노력이 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

제2절 향후 연구과제

본 연구에서는 여러 가지 제약으로 인해 수행하지 못하였거나 본 연구를 학술적으로 발전시킬 수 있는 주제들을 향후 연구과제로 제시하였다.

첫째, 선행연구에서 검토하였으나 본 연구에서 자료 구득의 한계로 분석하지 못한 공간적 영향 변수들을 제시하여 향후 연구에 도움이 되고자 한다. 예를 들어 서울시 도로 및 교통환경을 나타낼 수 있는 변수로서 TAZ별 교통수단별 통근자수, 평균 통근시간, VKT 대비 대중교통주행거리 (Transit Kilometer-Traveled) 비율, 평균 혼잡수준, 직주근접비율 등이 교통사고에 미치는 영향을 분석한다면 교통사고의 발생 특성을 보다 다양한 측면에서 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 본 연구에서는 TAZ 단위로 집계된 변수를 활용하다보니 평균통행속도를 변수로 활용하는데 제약이 있었다. 그러나 우리나라 도로의 제한속도를 교통사고 안전을 위해 하향 조정할 필요가 있다는 OECD(2016)의 권고에서도 알 수 있듯이 후속 연구를 통해 속도의 변화가 교통사고에 미치는 영향에 대해 심도 있게

살펴볼 필요가 있다. Aljanahi et al.(1999)⁸⁸⁾와 Ossiander and Cummings(2002)⁸⁹⁾, Wang 외(2009) 등도 속도의 변동이 교통사고에 미치는 영향을 밝힐 필요가 있다고 제안하였다. 또한 본 연구에서는 토지이용 다양성 지표가 차대차사고를 증가시키는 것으로 나타났는데 대중교통지향형 개발(Transit Oriented Development)이 이루어진 지역의 경우 복합개발을 통해 대중교통의 편리성을 확보함으로써 차량통행수요가 감소하게 된다. 이러한 TOD 지역에서의 교통사고는 어떠한 대응관계를 갖게 되는지 등에 대해서도 후속연구가 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 서울시 유형별 교통사고에 대한 전역적 및 국지적 공간분석을 통해 서울시에서 발생하는 교통사고에 공간적 자기상관성과 이분산성이 존재함을 확인하였고 다양한 공간요인들의 국지적인 차이를 지역적으로 파악하였다. 본 연구에서는 이를 결과로서 제시하였으나, 이러한 결과를 토대로 새로운 연구를 진행하면 좋을 것으로 판단된다. 예를 들어, GWR 분석결과를 토대로 동일한 변수의 영향이 공간적으로 상이하게 나타난 TAZ를 파악하고 이에 대한 현장조사 및 안전진단을 통해 도로기하구조, 도로시설물(street furniture), 사람들의 활동(activity) 등에 어떠한 차이가 있는지를 면밀하게 파악하는 연구를 진행할 수 있을 것이다. 또한 차대차 및 자동차 관련 교통사고모형의 경우 공간오차모형(SEM)이 최적 모형으로 선정되었는데, 이러한 공간적 이질성을 야기한 원인을 찾지는 못하였다. 이에 향후 연구를 통해 서울시 유형별 교통사고의 공간적 이질성에 영향을 미치는 다양한 요인들을 찾아내어 통제함으로써 모형의 설명력을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

셋째, 본 연구에서는 선행연구 고찰을 통해 종속변수에 로그를 취하는

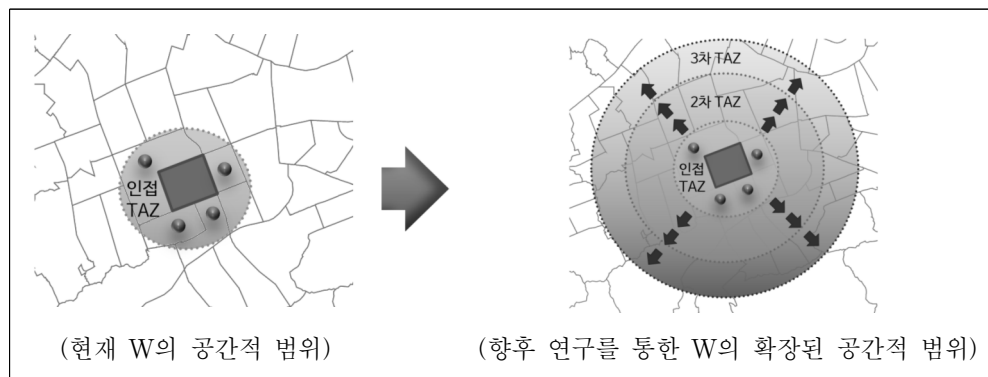
88) Aljanahi, A.A.M., Rhodes, A.H., Metcalfe, A.V., 1999, Speed, speed limits and road traffic accidents under free flow conditions, Accident Analysis and Prevention, Vol.21, N0.1-2, pp.161-168

89) Ossiander, E.M., Cummings, P., 2002, Freeway speed limits and traffic fatalities in Washington State. Accident Analysis and Prevention, Vol.34, N0.1, pp.13-18

모형형태를 적용하여 사고건수가 0인 TAZ를 제외함으로써 데이터의 손실이 발생하였다. 그러나 차량단독사고와 같이 종속변수의 상당부분이 0으로 처리되는 사고유형에 대해서는 영과잉 음이항모형(Zero-Inflated Negative Binomial)의 적용을 고려해볼 수도 있을 것이다. 또한 향후 필요한 분석데이터의 구득이 보다 용이해진다면 분석범위의 공간적 확장을 통해 여타 광역시의 교통사고 발생 특성과 비교해보는 것도 좋은 연구가 될 것으로 판단된다. 예를 들어, 아파트 면적비율의 경우 해외 선행연구와의 비교가 어려운 상황에서 서울시를 대상으로 한 분석에서는 통계적으로 유의하게 사고를 감소시키는 변수로 나타났다. 그러나 서울시 TAZ별 아파트 면적비율과 교통사고간의 관계가 공간적으로 다른 지역에서도 여전히 유의한지 살펴봄으로써 이 변수가 서울시에 특화된 변수인지 다른 공간에서도 적용 가능한 변수인지를 알아보는 작업이 필요할 것으로 판단된다. 또한 시간적 확장을 통해 공간요인들의 시계열적 변화를 추적해볼 수도 있을 것으로 기대된다.

넷째, 공간계량모형은 공간가중치행렬의 적용을 통해 OLS의 오차의 독립성 가정을 충족시킨다는 점에서 장점을 갖는다. 그러나 TAZ간 공간적 상관성을 구조화하는 데 핵심 과정인 공간가중치행렬 선택이 주관적으로 이루어지는 것이 단점으로 지적된다(이창로 외, 2013). 이에 향후 연구를 통해 공간가중치행렬을 결정적 적용이 아니라 객관적 지표를 통해 다양한 범위까지 생성할 수 있는 방법론에 대한 연구를 제안한다. 즉, 현재 적용된 공간가중치행렬은 해당 TAZ에 직접 인접한 경우에만 인접성이 있다고 판단한다. 즉, 시계열로 따지면 직전 또는 직후의 차년도(1차시)만 검토한 것이다. 그러나 이러한 영향은 TAZ의 경계와 관계없이 물리적으로 연결된 도로상에서의 흐름으로 이해한다면 상류 및 하류를 포함하여 전방위로 확장된 TAZ간의 가중치행렬도 생성할 수 있을 것으로 예상된다. 이를 통해 해당 TAZ의 공간적 상관성이 아주 작은 값이 될 때까지 경로를 탐색해 나가면서 인접성을 가진 TAZ를 추출하고 그에 적합한 값을 부여하는 것이다. 이러한 분석을 통해 사고 유형에 따라 어떤

시간적·공간적 특성을 지닐 때 공간적 과급효과가 커지고 작아지는지를 파악해 낼 수 있다면 이러한 결과가 갖는 정책적 시사점이나 함의는 매우 클 것으로 예상되므로 향후 연구과제의 추진이 필요하다. 다만 이를 위해서는 사고발생 시간과 장소 및 당시 통행 속도에 매칭될 수 있는 자료의 수집이 동시에 이루어져야 한다. 현재가 빅데이터 시대이고 향후 이의 활용이 더 활발해질 경우 이력데이터를 통한 공간가중치행렬의 공간적 과급효과를 파악할 수 있는 알고리즘 개발이 가능할 것으로 판단된다.



〈그림 6-1〉 공간가중치행렬의 공간적 확장

다섯째, 본 연구에서는 서울시 교통사고 유형별 발생요인을 실증적으로 찾기 위한 연구이므로 가장 기본이 되는 모형이면서 비교와 해석이 명확한 공간모형을 적용하였다. 그러나 공간모형에는 공간오차모형이나 공간시차모형 외에도 다양한 모형이 존재한다. 따라서 본 연구 결과를 토대로 향후 연구에서는 다양한 공간모형의 적용을 통한 비교연구가 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 사용한 설명변수 중에는 가구소득이나 인구수, 토지이용 다양성 지표 등과 같이 설명변수 중에 공간적 상관성이 높은 변수들이 포함되어 있다. 따라서 종속변수 외에 설명변수의 공간적 종속성을 고려한 공간더빈모형(Spatial Durbin Model)과 공간오차모형과 공간더빈모형을 결합한 공간더빈오차모형의 적용을 고려해 볼 수 있다.

부 록

1. 가구 월평균소득 10분위표(2010년 기준)

<표 부록-1> 소득 10분위별 가구당 가계수지(도시, 2인 이상)

| 월소득10분위별 | 가계수지항목별 | 전체가구 | 근로자가구 | 근로자외가구 |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 전체 평균 | 가구원수 | 3.29 | 3.40 | 3.12 |
| | 소득 | 3,670,142 | 4,007,671 | 3,151,032 |
| 1분위 | 가구원수 | 2.41 | 2.63 | 2.30 |
| | 소득 | 816,758 | 1,264,306 | 481,896 |
| 2분위 | 가구원수 | 2.78 | 3.05 | 2.47 |
| | 소득 | 1,586,918 | 1,979,069 | 1,100,422 |
| 3분위 | 가구원수 | 3.05 | 3.24 | 2.67 |
| | 소득 | 2,158,579 | 2,509,256 | 1,603,769 |
| 4분위 | 가구원수 | 3.27 | 3.45 | 2.93 |
| | 소득 | 2,654,300 | 2,965,453 | 2,133,415 |
| 5분위 | 가구원수 | 3.38 | 3.48 | 3.30 |
| | 소득 | 3,093,255 | 3,393,823 | 2,626,555 |
| 6분위 | 가구원수 | 3.48 | 3.48 | 3.22 |
| | 소득 | 3,537,403 | 3,870,097 | 3,055,443 |
| 7분위 | 가구원수 | 3.57 | 3.66 | 3.47 |
| | 소득 | 4,075,993 | 4,397,055 | 3,513,395 |
| 8분위 | 가구원수 | 3.61 | 3.73 | 3.67 |
| | 소득 | 4,718,845 | 5,051,094 | 4,127,789 |
| 9분위 | 가구원수 | 3.67 | 3.62 | 3.55 |
| | 소득 | 5,682,849 | 6,000,556 | 5,045,173 |
| 10분위 | 가구원수 | 3.71 | 3.71 | 3.67 |
| | 소득 | 8,362,964 | 8,634,049 | 7,811,824 |

출처 : 통계청, 가계동향조사

- 주 1) 도시근로자가구란 도시지역에 거주하는 가구로서 가구주가 임금근로자인 가구를 의미
5(또는10)분위별 소득이란 가구를 소득순으로 나열한 다음, 최하위 가구부터 최상위
가구 까지5(또는10)구간으로 등분하여 각 구간별 소득을 평균한 금액임. 그러므로
구간별 가구수는 전체가구수의 20(또는10)%임.
- 2) 통계청 통계지표 중 가구원수별 가구당 월평균 가계수지에 따르면 2010년 1인 가구의
평균소득(도시, 1인 이상)을 1,458,635원으로 공표하고 있음

2. 차량단독사고 모형 분석 결과

1) 기준모형 분석 및 진단

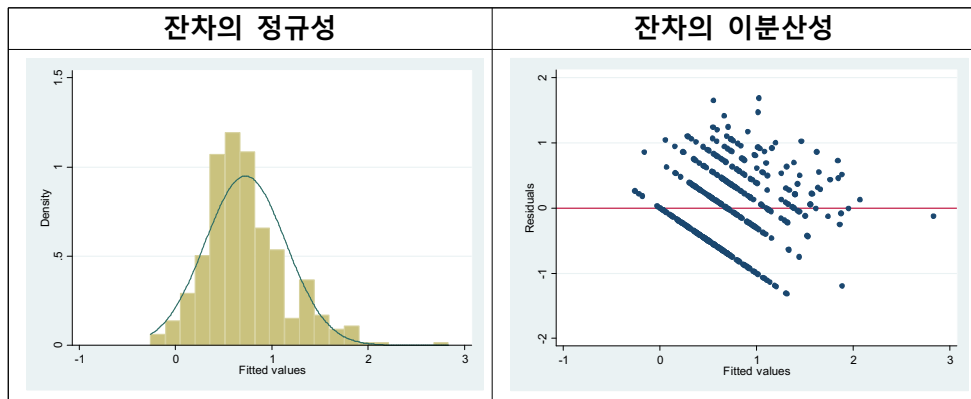
차량단독사고 기준모형의 경우 R^2 값이 0.35로 차량단독사고 총 분산의 35%를 설명하고 있으며, 차대차나 보행자-차량사고 모형에 비해 낮은 설명력을 갖는 것으로 나타났다.

차대차사고 모형과 비교하여 차량단독모형의 경우 가구소득이나 종사자 밀도와 같은 인구 및 도시환경변수보다는 도로 및 교통환경 변수에 의한 영향이 증가한 것으로 나타났다. 또한 65세 이상인구비율 변수와 횡단 보도시설수가 차량단독사고를 증가시키는 변수로 추가되었으며, 총 도로 연장 대비 제한속도가 30km/h이하인 도로연장비율(%)의 경우 차량단독사고를 감소시키는 변수로 포함되었다.

<표 부록-2> 차량단독사고 기준모형(OLS) 분석 결과

| 설명변수 | | 계수 | Std.E | VIF |
|-------------|-------------------------------------|-----------|-------|------|
| 상수 | | -0.847*** | 0.274 | - |
| 인구/도시 환경 | 65세 이상 인구비율(%) | 0.028** | 0.013 | 1.09 |
| | 토지이용 다양성지표 | 0.568* | 0.290 | 1.08 |
| 도로환경 | 총 도로연장 대비 제한속도가 30km/h이하인 도로연장비율(%) | -0.301* | 0.160 | 1.25 |
| | 총 도로연장 대비 제한속도가 50km/h이하인 도로연장비율(%) | 1.870*** | 0.276 | 1.19 |
| 교통환경 | 횡단보도 시설 수 | 0.002*** | 0.001 | 2.27 |
| | 버스정류장수 | 0.007** | 0.003 | 1.91 |
| | 차량주행거리($\ln(VKT)$) | 0.155*** | 0.040 | 1.59 |
| 모형 설명력 | TAZ | 423 | | |
| | R^2 | 0.35 | | |
| | 수정된 R^2 | 0.34 | | |
| | Log likelihood | -360.411 | | |
| | AIC | 736.822 | | |

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄



〈그림 부록-1〉 자동차 관련 교통사고 기준모형(OLS)의 잔차 분석

차량단독사고 모형에 대해서도 OLS 기본가정에 대한 위배여부를 진단한 결과, 공간적 상관성 및 종속변수와 오차항의 공간적 종속성 검정 결과 대안 모형이 필요한 것으로 나타났다.

<표 부록-3> 차량단독사고 기준모형(OLS) 진단

| 구분 | 검정 통계량 | 통계적 유의성 | 해석 |
|---------------------------|-------------------------|------------|--|
| 변수의 과잉 여부 | VIF | 1.48 | • 다중공선성 크지 않음 |
| 모형 유의성 | Joint Wald / Joint F | 유의 | • 설명변수가 효율적이다 |
| 모형의 안정성 (Stationarity) | Koenker(BP) | 유의 | • 모형이 안정적이지 않다 • GWR 적용시 개선 가능 |
| 오차의 이분산성 | White | 유의 | • 이분산성 존재 |
| 오차의 비정규성 | Jarque-Bera | 유의 | • 모형 결과의 편향(bias) 가능성 • 오차의 강한 비정규성 |
| 공간적 상관성 | Moran's I(error) | 유의 | • 공간상관성을 가짐 |
| 종속변수와 오차항의 공간적 종속성 | LM (lag) | 유의 | • 종속변수에 공간적 종속성 존재 |
| | LM (error) | 유의 | • 오차항에 공간적 종속성 존재 |
| | LM (SARMA) | 유의 | • 종속변수와 오차항에 모두 존재 |

주 [1] VIF(Variance Inflation Factor) : 설명변수의 VIF가 7.5보다 클 경우 차례대로 하나씩 회귀모형에서 제거하면서 VIF 변화 확인

[2] Joint Wald 및 Joint F 검정의 H_0 : 설명변수가 효율적이지 않다(not effective).

[3] Koenker(BP)의 H_0 : 모형이 일관(stationary)되다.

[4] Jarque-Bera의 H_0 : 잔차가 정규분포한다.

[5] LM(Lagrange Multiplier)의 H_0 : 종속변수 또는 오차항은 공간적으로 독립적이다.

2) 전역적 공간모형 분석

차량단독사고에 대한 공간오차모형(SEM)과 공간시차모형(SLM)을 분석한 결과, 기준모형(OLS)에 비해 Log-likelihood와 AIC값이 이 더 유의한 것으로 나타나 대안모형의 유의성과 설명력이 증가한 것을 알 수 있다.

대안모형간 비교에서는 AIC값을 기준으로 공간오차모형이 조금 적합한 모형으로 나타났으나, AIC값의 차이가 크지 않아 어느 한쪽 모형이 통계적으로 우수하다고 판단하기 어렵다. 또한 공간오차항(λ)과 공간시차항(ρ)에 대한 LR검정 결과, 유의 수준 0.05에서 귀무가설을 기각하여 오차항과 시차항 모두 기준모형을 개선시킨 것으로 나타났다. 인접 TAZ에 대한 영향력은 공간오차항(λ)의 계수가 0.354로 0.282인 공간시차항(ρ)보다 더 높게 측정되었다. 이는 차량단독사고에 대한 공간적 과급효과를 의미하는 것으로 해당 TAZ의 차량단독사고건수는 주변에 인접한 TAZ에서 발생한 차량단독사고의 약 17% 정도의 영향(공간오차모형일 때)을 받는다고 해석할 수 있다. 차대차사고나 보행자-차량 사고 모형에 비해 인접 TAZ의 영향이 적은 것으로 나타났다.

차량단독 사고 모형의 경우 영향을 미치는 변수가 가장 적게 나타났는데, 이는 차량단독사고는 외부환경요인 보다는 운전자의 인적 요인(심리적 상태, 피곤도, 음주 등)에 의한 부분⁹⁰⁾이 사고원인의 상당 부분을 차지하기 때문으로 판단된다.

다른 모형과 달리 65세 이상 인구비율이 높은 지역에서 차량단독사고가 많이 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 고령인구가 많아지면 고령인구가 운전할 확률이 높아지고 이로 인한 차량단독사고의 발생가능성이 증가하기 때문으로 예측할 수 있다. 또한 총 도로연장 대비 제한속도가 50km/h인 도로연장비율(%)이 가장 높은 영향력을 나타내는 변수로 포함되었다.

90) AASHTO(2010)에서는 교통사고의 3대 원인을 인적 요인(Human factor), 도로환경요인, 차량요인으로 설정하였으며, 이중 순수하게 인적요인에 의한 사고발생비율이 57%로 과반 이상을 차지하며, 도로환경과 관련된 인적요인이 27%, 차량요인과 관련된 인적요인이 6%, 도로 및 차량과 복합된 인적요인이 3%를 차지하고 있는 것으로 정의하고 있다.

제한속도가 30km/h인 도로비율은 차량단독사고에서도 사고를 감소시키는 변수로 나타나 향후 교통안전정책 제안시 속도 제한의 필요성을 강조할 필요가 있다.

<표 부록-4> 차량단독사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과

| 설명변수 | | SEM | | SLM | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|-----------|-------|
| | | 계수 | Std.E | 계수 | Std.E |
| 상수 | | -0.827*** | 0.280 | -0.896*** | 0.270 |
| 인구 /도시 환경 | 65세 이상 인구비율(%) | 0.028** | 0.014 | 0.027** | 0.013 |
| | 토지이용 다양성지표 | 0.571* | 0.303 | 0.524* | 0.287 |
| 도로 환경 | 총 도로연장 대비 제한속도가 30km/h인 도로연장비율(%) | -0.301* | 0.165 | -0.285* | 0.157 |
| | 총 도로연장 대비 제한속도가 50km/h인 도로연장비율(%) | 1.882*** | 0.290 | 1.750*** | 0.280 |
| 교통 환경 | 횡단보도 시설 수 | 0.002*** | 0.001 | 0.002*** | 0.001 |
| | 버스정류장 수 | 0.007** | 0.003 | 0.007** | 0.003 |
| | 차량주행거리($\ln(VKT)$) | 0.149*** | 0.041 | 0.151*** | 0.039 |
| 공간 오차항 | λ (Lambda) | 0.170** | 0.073 | - | |
| | 공간오차항에 대한 LR 검정 | 유의 | | - | |
| 공간 시차항 | ρ (Rho) | - | | 0.127** | 0.064 |
| | 공간시차항에 대한 LR 검정 | - | | 유의 | |
| 모형 설명력 | TAZ 수 | 423 | | | |
| | $pseudo R^2$ | 0.37 | | .036 | |
| | Log likelihood | -357.662 | | -358.324 | |
| | AIC | 731.325 | | 734.648 | |
| 공간가중치 | | 인접성 가중치(ROOK방식) | | | |
| Breusch-Pagan(H_0 : 등분산) 검정 | | H_0 기각 | | | |

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

<표 부록-5> 차량단독사고 대안모형(SEM/SLM) 분석 결과_선형 종속변수

| 설명변수 | | SEM | | SLM | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------|-----------|-------|
| | | 계수 | Std.E | 계수 | Std.E |
| 상수 | | -2.886*** | 0.950 | -3.145*** | 0.916 |
| 인구 /도시 환경 | 65세 이상 인구비율(%) | 0.118** | 0.047 | 0.116*** | 0.044 |
| | 토지이용 다양성지표 | 2.022** | 1.025 | 1.878* | 0.974 |
| 도로 환경 | 총 도로연장 대비 제한속도가 30km/h인 도로연장비율(%) | -0.940* | 0.560 | -0.891* | 0.534 |
| | 총 도로연장 대비 제한속도가 50km/h인 도로연장비율(%) | 6.760*** | 0.982 | 6.292*** | 0.947 |
| 교통 환경 | 횡단보도 시설 수 | 0.010*** | 0.003 | 0.010*** | 0.003 |
| | 버스정류장 수 | 0.022** | 0.010 | 0.021** | 0.010 |
| | 차량주행거리($\ln(VKT)$) | 0.444*** | 0.139 | 0.455*** | 0.134 |
| 공간 오차항 | λ (Lambda) | 0.166*** | 0.072 | - | |
| | 공간오차항에 대한 LR 검정 | 유의 | | - | |
| 공간 시차항 | ρ (Rho) | - | | 0.122** | 0.060 |
| | 공간시차항에 대한 LR 검정 | - | | 유의 | |
| 모형 설명력 | TAZ | 423 | | | |
| | $pseudo R^2$ | 0.37 | | 0.38 | |
| | Log likelihood | -874.480 | | -875.021 | |
| | AIC | 1768.96 | | 1770.041 | |
| 공간가중치 | | 인접성 가중치(ROOK방식) | | | |
| Breusch-Pagan(H_0 : 등분산) 검정 | | H_0 기각 | | | |

주 : ***는 1%, **는 5%, *는 10% 유의수준에서 유의함을 나타냄

3) 국지적 공간모형 분석

차량단독사고모형의 국지적 모형의 경우에도 OLS 모형의 통계적 유의성을 개선시킨 것으로 나타나 기준모형의 대안모형으로 가능하다. OLS와 GWR모형간 설명변수의 영향력에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 공간적 이질성도 변수간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 차량단독사고의 공간적 이질성은 개별 공간의 특정 영향력 보다는 운전자에 의한 인적 요인이 더 크게 작용하기 때문에 공간적 이질성이 크지 않게 나타난 것으로 판단된다.

그러나 차량단독사고에 대한 국지적 공간분석모형의 경우 분산분석 결과, 귀무가설을 기각하지 못함으로써 OLS를 개선하지 못한 것으로 나타나 차량단독 사고의 GWR모형은 통계적 유의성을 상실하여 대안모형(GWR)과 기준 모형(OLS)간의 비교에서는 기준모형이 통계적으로 우수한 것으로 나타났다.

<표 부록-6> 차량단독사고 대안모형(GWR) 분석 결과

| 설명변수 | | 계수 | | | |
|------------------------|-----------------------|-------------------|--------|--------|-------|
| | | 평균 | 최대 | 최소 | Std.E |
| 상수 | | -0.862 | -0.819 | -0.900 | 0.024 |
| 인구 /도시 환경 | 65세 이상 인구비율(%) | 0.029 | 0.030 | 0.028 | 0.001 |
| | 토지이용 다양성지표 | 0.544 | 0.571 | 0.513 | 0.014 |
| 도시 환경 | PSL 30km/h인 도로연장비율(%) | -0.299 | -0.286 | -0.318 | 0.008 |
| | PSL 50km/h인 도로연장비율(%) | 1.852 | 1.905 | 1.822 | 0.029 |
| 교통 환경 | 횡단보도 시설 수 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.000 |
| | 버스정류장 수 | 0.007 | 0.007 | 0.006 | 0.000 |
| | 차량주행거리($\ln(VKT)$) | 0.157 | 0.165 | 0.149 | 0.004 |
| 모형 설명력 | R^2 (수정된 R^2) | 0.33(0.36) | | | |
| | Log likelihood | -359.521 | | | |
| | AIC | 739.865 | | | |
| 표준화된 잔차의 Moran's I(Z값) | | 0.090(3.09) | | | |
| Kernel type | | Adaptive Gaussian | | | |
| Bandwidth method | | AIC | | | |

3. GWR모형의 ANOVA 결과

<표 부록-7> GWR ANOVA 결과

| 분석모형 | 판단 근거 | 제곱합 | 자유도 | MS | F비 | H_0 |
|--------------------|-----------------|---------|---------|-------|-------|--------------------|
| 차대차 사고모형 | OLS Residuals | 112.734 | 410.000 | | | 기각 (0.01) |
| | GWR Improvement | 22.131 | 47.214 | 0.469 | | |
| | GWR Residuals | 96.602 | 362.786 | 0.250 | 1.877 | |
| 보행자- 차량 사고모형 | OLS Residuals | 106.709 | 411.000 | | | 기각 (0.01) |
| | GWR Improvement | 20.498 | 40.937 | 0.501 | | |
| | GWR Residuals | 86.211 | 370.063 | 0.233 | 2.149 | |
| 차량단독 사고모형 | OLS Residuals | 136.124 | 415.000 | | | 기각 못함 (0.05) |
| | GWR Improvement | 0.572 | 2.175 | 0.263 | | |
| | GWR Residuals | 135.553 | 412.825 | 0.328 | 0.800 | |
| 전체 사고모형 | OLS Residuals | 102.158 | 410.000 | | | 기각 (0.01) |
| | GWR Improvement | 20.434 | 47.242 | 0.433 | | |
| | GWR Residuals | 81.724 | 362.758 | 0.225 | 1.920 | |

주: 제곱합은 Sum of Square of Model, MS는 Mean Square of Model이다.

GWR에 대한 F검정의 H_0 는 'GWR 모형이 OLS를 개선하지 못하였다'이다.

4. 계수 안정성 검정 그룹별 기초통계량 검토

1) 무작위 그룹별 기초통계량 검토

<표 부록-8> 무작위적 구분에 의한 그룹별 기초통계량

| 사용된 변수 | 무작위 그룹 1 | | | | 무작위 그룹 2 | | | |
|---------------------------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| | 평균 | Std.D | 최소값 | 최대값 | 평균 | Std.D | 최소값 | 최대값 |
| TAZ 수 | 219 | | | | 204 | | | |
| $\ln(\text{차대차사고건수})$ | 3.76 | 0.81 | 0.00 | 5.95 | 3.72 | 0.83 | 0.00 | 5.33 |
| $\ln(\text{보차사고건수})$ | 2.91 | 0.74 | 0.00 | 4.89 | 2.81 | 0.77 | 0.00 | 4.73 |
| $\ln(\text{총 사고건수})$ | 4.18 | 0.75 | 0.00 | 6.26 | 4.12 | 0.79 | 0.00 | 5.78 |
| $\ln(\text{월평균가구소득})$ | 1.42 | 0.26 | 0.92 | 2.17 | 1.45 | 0.27 | 0.99 | 2.12 |
| 인구수 | 23438 | 8987 | 809 | 49837 | 22817 | 8166 | 2975 | 49385 |
| $\ln \text{종사자밀도}$ | 8.74 | 0.95 | 5.70 | 11.41 | 8.64 | 0.92 | 5.63 | 11.03 |
| $\ln(\text{종사자/인구})$ | -1.14 | 1.16 | -3.09 | 4.44 | -1.25 | 0.88 | -2.76 | 2.45 |
| 15세 이하 인구비율 | 13.67 | 2.77 | 5.41 | 21.67 | 13.69 | 2.89 | 6.05 | 21.73 |
| 65세 이상 인구비율 | 10.15 | 2.09 | 5.69 | 15.67 | 9.83 | 2.40 | 5.11 | 17.79 |
| 학교수 | 17.86 | 10.84 | 0.00 | 64.00 | 17.42 | 12.30 | 1.00 | 97.00 |
| 토지이용다양성지표 | 0.33 | 0.09 | 0.05 | 0.57 | 0.33 | 0.11 | 0.08 | 0.63 |
| 아파트면적 62% 더미 | 0.36 | 0.48 | 0.00 | 1.00 | 0.43 | 0.50 | 0.00 | 1.00 |
| PSL 30km/h 이상 차이나는 접속지점 수 | 9.21 | 10.18 | 0.00 | 65.00 | 9.76 | 12.34 | 0.00 | 93.00 |
| PSL 30km/h 연장비율 | 0.30 | 0.20 | 0.00 | 1.00 | 0.31 | 0.20 | 0.00 | 0.87 |
| PSL 50km/h 연장비율 | 0.05 | 0.11 | 0.00 | 0.65 | 0.06 | 0.12 | 0.00 | 0.46 |
| PSL 60km/h 연장비율 | 0.17 | 0.13 | 0.00 | 1.01 | 0.16 | 0.12 | 0.00 | 0.67 |
| 버스정류장 수 | 0.50 | 0.50 | 0.00 | 1.00 | 0.55 | 0.50 | 0.00 | 1.00 |
| $\ln(\text{총차량중행거리})$ | 22.36 | 13.79 | 0.00 | 80.00 | 21.36 | 12.23 | 2.00 | 81.00 |

2) 아파트 면적비율 더미에 의한 그룹별 기초통계량 검토

<표 부록-9> 아파트 면적비율 더미에 의한 그룹별 기초통계량

| 사용된 변수 | 아파트면적비율 62% 이상 | | | | 아파트면적비율 62% 미만 | | | |
|---------------------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| | 평균 | Std.D | 최소값 | 최대값 | 평균 | Std.D | 최소값 | 최대값 |
| TAZ 수 | 167 | | | | 256 | | | |
| $\ln(\text{차대차사고건수})$ | 3.75 | 0.93 | 0.00 | 5.72 | 3.74 | 0.74 | 0.00 | 5.95 |
| $\ln(\text{보차사고건수})$ | 2.65 | 0.84 | 0.00 | 4.22 | 3.01 | 0.65 | 0.00 | 4.89 |
| $\ln(\text{총 사고건수})$ | 4.09 | 0.89 | 0.00 | 5.96 | 4.19 | 0.68 | 0.00 | 6.26 |
| $\ln(\text{월평균가구소득})$ | 1.57 | 0.27 | 0.99 | 2.17 | 1.35 | 0.22 | 0.92 | 2.02 |
| 인구수 | 25119 | 8874 | 809 | 49837 | 21847 | 8172 | 1426 | 49385 |
| $\ln \text{종사자밀도}$ | 8.60 | 1.01 | 5.70 | 11.19 | 8.76 | 0.88 | 5.63 | 11.41 |
| $\ln(\text{종사자/인구})$ | -1.28 | 1.11 | -3.09 | 4.44 | -1.14 | 0.98 | -2.58 | 3.65 |
| 15세 이하 인구비율 | 15.45 | 2.67 | 6.93 | 21.73 | 12.53 | 2.28 | 5.41 | 17.96 |
| 65세 이상 인구비율 | 9.16 | 2.14 | 5.11 | 16.23 | 10.54 | 2.15 | 5.50 | 17.79 |
| 학교수 | 18.64 | 12.33 | 1.00 | 64.00 | 17.00 | 11.00 | 0.00 | 97.00 |
| 토지이용다양성지표 | 0.33 | 0.11 | 0.05 | 0.63 | 0.33 | 0.10 | 0.07 | 0.62 |
| 중앙버스전용차로 더미 | 0.53 | 0.50 | 0.00 | 1.00 | 0.53 | 0.50 | 0.00 | 1.00 |
| PSL 30km/h 이상 차이나는 접속지점 수 | 12.10 | 12.79 | 0.00 | 93.00 | 7.77 | 9.79 | 0.00 | 65.00 |
| PSL 30km/h 연장비율 | 0.33 | 0.19 | 0.00 | 0.87 | 0.29 | 0.19 | 0.00 | 1.00 |
| PSL 50km/h 연장비율 | 0.09 | 0.13 | 0.00 | 0.65 | 0.04 | 0.09 | 0.00 | 0.40 |
| PSL 60km/h 연장비율 | 0.19 | 0.14 | 0.00 | 1.01 | 0.15 | 0.11 | 0.00 | 0.67 |
| 버스정류장 수 | 24.12 | 14.03 | 2.00 | 80.00 | 20.41 | 12.18 | 0.00 | 81.00 |
| $\ln(\text{총차량중행거리})$ | 5.09 | 0.84 | 3.07 | 7.49 | 4.86 | 0.89 | 0.83 | 8.01 |

3) 서울시 평균지가를 기준으로 한 그룹별 기초통계량 검토

<표 부록-10> 서울시 평균지가를 기준으로 한 그룹별 기초통계량

| 사용된 변수 | 평균지가보다 높은 지역 | | | | 평균지가보다 낮은 지역 | | | |
|---------------------------|--------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | 평균 | Std.D | 최소값 | 최대값 | 평균 | Std.D | 최소값 | 최대값 |
| TAZ 수 | 135 | | | | 288 | | | |
| $\ln(\text{차대차사고건수})$ | 4.07 | 0.79 | 1.95 | 5.95 | 3.59 | 0.79 | 0.00 | 5.06 |
| $\ln(\text{보차사고건수})$ | 3.00 | 0.81 | 0.69 | 4.89 | 2.80 | 0.72 | 0.00 | 4.23 |
| $\ln(\text{총 사고건수})$ | 4.43 | 0.75 | 2.30 | 6.26 | 4.02 | 0.74 | 0.00 | 5.45 |
| $\ln(\text{월평균가구소득})$ | 1.60 | 0.31 | 0.92 | 2.17 | 1.36 | 0.20 | 0.97 | 2.11 |
| 인구수 | 21253 | 9357 | 809 | 43457 | 24022 | 8082 | 3255 | 49837 |
| $\ln(\text{종사자밀도})$ | 9.30 | 0.95 | 6.51 | 11.41 | 8.41 | 0.78 | 5.63 | 11.15 |
| $\ln(\text{종사자/인구})$ | -0.53 | 1.29 | -2.76 | 4.44 | -1.50 | 0.71 | -3.09 | 1.83 |
| 15세 이하 인구비율 | 13.03 | 3.39 | 5.41 | 21.73 | 13.99 | 2.47 | 6.16 | 21.67 |
| 65세 이상 인구비율 | 9.50 | 2.72 | 5.11 | 17.79 | 10.23 | 1.95 | 5.80 | 16.22 |
| 학교수 | 13.20 | 7.51 | 0.00 | 48.00 | 19.73 | 12.51 | 1.00 | 97.00 |
| 토지이용다양성지표 | 0.35 | 0.10 | 0.08 | 0.59 | 0.32 | 0.10 | 0.05 | 0.63 |
| 아파트면적 62% 더미 | 0.52 | 0.50 | 0.00 | 1.00 | 0.34 | 0.47 | 0.00 | 1.00 |
| PSL 30km/h 이상 차이나는 접속지점 수 | 11.44 | 11.42 | 0.00 | 52.00 | 8.56 | 11.09 | 0.00 | 93.00 |
| PSL 30km/h 연장비율 | 0.30 | 0.18 | 0.00 | 0.84 | 0.31 | 0.20 | 0.00 | 1.00 |
| PSL 50km/h 연장비율 | 0.06 | 0.11 | 0.00 | 0.47 | 0.06 | 0.11 | 0.00 | 0.65 |
| PSL 60km/h 연장비율 | 0.21 | 0.16 | 0.00 | 1.01 | 0.15 | 0.10 | 0.00 | 0.65 |
| 중앙버스전용차로 더미 | 0.65 | 0.48 | 0.00 | 1.00 | 0.47 | 0.50 | 0.00 | 1.00 |
| 버스정류장 수 | 22.58 | 14.81 | 2.00 | 81.00 | 21.55 | 12.16 | 0.00 | 80.00 |
| $\ln(\text{총차량중행거리})$ | 5.27 | 0.81 | 2.90 | 7.49 | 4.80 | 0.87 | 0.83 | 8.01 |

4) 한강을 기준으로 한 그룹별 기초통계량 검토

<표 부록-11> 한강을 기준으로 한 그룹별 기초통계량

| 사용된 변수 | 강남지역 | | | | 강북지역 | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 평균 | Std.D | 최소값 | 최대값 | 평균 | Std.D | 최소값 | 최대값 |
| TAZ 수 | 201 | | | | 222 | | | |
| $\ln(\text{차대차사고건수})$ | 3.80 | 0.83 | 0.00 | 5.95 | 3.69 | 0.81 | 0.00 | 5.69 |
| $\ln(\text{보차사고건수})$ | 2.88 | 0.75 | 0.00 | 4.89 | 2.85 | 0.76 | 0.00 | 4.81 |
| $\ln(\text{총 사고건수})$ | 4.20 | 0.78 | 0.00 | 6.26 | 4.11 | 0.75 | 0.00 | 6.07 |
| $\ln(\text{월평균가구소득})$ | 1.56 | 0.28 | 0.92 | 2.17 | 1.32 | 0.19 | 0.97 | 2.01 |
| 인구수 | 24997 | 7618 | 4168 | 49837 | 21456 | 9088 | 809 | 46044 |
| $\ln(\text{종사자밀도})$ | 8.75 | 0.94 | 5.63 | 11.15 | 8.64 | 0.93 | 5.69 | 11.41 |
| $\ln(\text{종사자/인구})$ | -1.18 | 0.95 | -2.76 | 1.83 | -1.21 | 1.11 | -3.09 | 4.44 |
| 15세 이하 인구비율 | 14.02 | 2.78 | 5.41 | 21.73 | 13.38 | 2.84 | 6.05 | 21.67 |
| 65세 이상 인구비율 | 8.84 | 1.87 | 5.11 | 15.49 | 11.04 | 2.04 | 5.80 | 17.79 |
| 학교수 | 17.99 | 11.49 | 1.00 | 97.00 | 17.34 | 11.64 | 0.00 | 80.00 |
| 토지이용다양성지표 | 0.33 | 0.11 | 0.05 | 0.63 | 0.34 | 0.09 | 0.10 | 0.62 |
| 아파트면적 62% 더미 | 0.47 | 0.50 | 0.00 | 1.00 | 0.33 | 0.47 | 0.00 | 1.00 |
| PSL 30km/h 이상 차이나는 접속지점 수 | 10.60 | 10.77 | 0.00 | 52.00 | 8.46 | 11.62 | 0.00 | 93.00 |
| PSL 30km/h 연장비율 | 0.31 | 0.19 | 0.00 | 0.86 | 0.30 | 0.20 | 0.00 | 1.00 |
| PSL 50km/h 연장비율 | 0.06 | 0.11 | 0.00 | 0.65 | 0.06 | 0.11 | 0.00 | 0.42 |
| PSL 60km/h 연장비율 | 0.18 | 0.15 | 0.00 | 1.01 | 0.15 | 0.10 | 0.00 | 0.67 |
| 중앙버스전용차로 더미 | 0.54 | 0.50 | 0.00 | 1.00 | 0.51 | 0.50 | 0.00 | 1.00 |
| 버스정류장 수 | 20.21 | 12.97 | 2.00 | 76.00 | 23.38 | 12.97 | 0.00 | 81.00 |
| $\ln(\text{총차량중행거리})$ | 5.25 | 0.89 | 1.89 | 8.01 | 4.68 | 0.77 | 0.83 | 6.40 |

5. 자치구별 사회경제적 속성 집계자료

| 집계항목 | 동대문 | 중구 | 강남 | 강동 | 강북 | 강서 | 관악 |
|---------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 총사고건수_2010년 ¹⁾ | 1,733 | 1,498 | 3,373 | 1,350 | 1,214 | 1,766 | 1,587 |
| 가구수 | 128,042 | 45,656 | 200,965 | 159,630 | 117,072 | 193,629 | 217,359 |
| 총사자수(천인) | 129.6 | 371.9 | 635.1 | 115.6 | 68.2 | 163.2 | 108.5 |
| 인구 대비 총사자비율(%) | 34.6 | 671.3 | 106.7 | 22.9 | 20.2 | 29.6 | 20.8 |
| 인구수(천인) | 346.8 | 121.1 | 527.6 | 465.9 | 324.4 | 546.9 | 520.8 |
| 행정구역(km2) | 14.2 | 10.0 | 39.5 | 24.6 | 23.6 | 41.4 | 29.6 |
| 15세 미만 인구비율(%) | 12.7 | 10.4 | 12.8 | 14.8 | 13.2 | 14.5 | 11.7 |
| 15~64세 인구비율(%) | 75.9 | 77.0 | 79.0 | 77.4 | 74.4 | 76.5 | 79.2 |
| 65세 이상인구비율(%) | 11.5 | 12.6 | 8.2 | 7.8 | 12.4 | 8.9 | 9.2 |
| 남성비율(%) | 49.6 | 50.5 | 47.7 | 49.7 | 49.0 | 48.9 | 50.3 |
| 전업인구비율(%) | 17.1 | 24.7 | 20.3 | 17.9 | 17.5 | 16.8 | 19.8 |
| 월평균가구소득 (10분위) | 3.4 | 3.7 | 7.1 | 4.8 | 3.2 | 4.3 | 3.9 |
| 어린이집 | 34 | 12 | 30 | 44 | 20 | 44 | 49 |
| 유치원 | 213 | 48 | 231 | 285 | 188 | 354 | 286 |
| 초등학교 | 20 | 13 | 28 | 23 | 14 | 36 | 25 |
| 중학교 | 16 | 6 | 25 | 16 | 11 | 20 | 19 |
| 고등학교 | 11 | 10 | 22 | 13 | 5 | 21 | 17 |
| 병원 | 209 | 272 | 532 | 206 | 152 | 214 | 247 |
| 종사자 수 1,000인 이상 기업수 | 4 | 134 | 116 | 2 | 0 | 5 | 10 |
| 기초수급자비율(%) | 2.64 | 3.49 | 2.35 | 1.44 | 3.41 | 3.68 | 2.01 |
| 평균공시지가(천원) | 2,285 | 5,328 | 4,756 | 2,997 | 1,650 | 2,157 | 2,174 |
| 노인보호구역수 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 교차로수 | 246 | 168 | 321 | 247 | 197 | 336 | 195 |
| 스쿨존 수 | 35 | 12 | 52 | 40 | 31 | 62 | 58 |
| 지하철역 | 9 | 15 | 23 | 9 | 3 | 17 | 5 |
| 버스정류장 | 356 | 201 | 567 | 289 | 347 | 477 | 290 |
| 신호등 | 1,051 | 697 | 1,401 | 1,074 | 791 | 1,306 | 798 |
| 횡단보도 | 1,153 | 1,278 | 2,512 | 1,442 | 911 | 1,547 | 819 |
| 도로연장(m) | 117,588 | 87,951 | 279,803 | 159,925 | 63,526 | 206,869 | 102,880 |
| 도로면적(km2) | 0.43 | 0.34 | 1.19 | 0.51 | 0.23 | 0.73 | 0.40 |
| VKT | 1,858 | 2,859 | 7,562 | 4,155 | 1,144 | 3,483 | 3,273 |

주: 여기서 총 사고건수는 이륜차 등이 제외되고 순수하게 자동차와 관련된 사고건수를 의미함

| 집계항목 | 광진구 | 구로구 | 금천구 | 노원구 | 도봉구 | 동작구 | 마포구 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 총사고건수_2010년 ¹⁾ | 1,431 | 1,508 | 1,079 | 1,650 | 955 | 1,004 | 1,621 |
| 가구수 | 133,468 | 142,678 | 86,533 | 197,168 | 118,947 | 145,744 | 141,402 |
| 종사자수(천인) | 116.3 | 180.4 | 198.1 | 103.8 | 62.8 | 100.3 | 201.7 |
| 인구 대비 종사자비율(%) | 30.9 | 38.8 | 78.1 | 16.6 | 16.8 | 24.7 | 49.9 |
| 인구수(천인) | 368.0 | 417.3 | 242.5 | 587.2 | 348.6 | 397.3 | 369.4 |
| 행정구역(km2) | 17.1 | 20.1 | 13.0 | 35.4 | 20.7 | 16.4 | 23.9 |
| 15세 미만 인구비율(%) | 12.8 | 14.6 | 13.3 | 16.2 | 14.4 | 13.0 | 13.5 |
| 15~64세 인구비율(%) | 78.8 | 76.2 | 76.8 | 74.6 | 75.0 | 76.9 | 76.1 |
| 65세 이상인구비율(%) | 8.4 | 9.3 | 9.8 | 9.2 | 10.6 | 10.1 | 10.4 |
| 남성비율(%) | 48.8 | 50.3 | 50.7 | 48.8 | 49.0 | 49.2 | 48.0 |
| 전업인구비율(%) | 17.7 | 15.1 | 15.3 | 14.6 | 15.5 | 18.2 | 20.4 |
| 월평균가구소득 (10분위) | 4.3 | 3.8 | 3.6 | 4.1 | 3.8 | 4.1 | 4.0 |
| 어린이집 | 38 | 29 | 18 | 65 | 25 | 32 | 34 |
| 유치원 | 219 | 337 | 207 | 463 | 290 | 178 | 207 |
| 초등학교 | 22 | 23 | 17 | 39 | 20 | 19 | 24 |
| 중학교 | 12 | 13 | 9 | 23 | 13 | 13 | 16 |
| 고등학교 | 9 | 17 | 6 | 24 | 9 | 6 | 10 |
| 병원 | 212 | 205 | 142 | 208 | 131 | 192 | 277 |
| 종사자 수 1,000인 이상 기업수 | 1 | 11 | 12 | 2 | 0 | 4 | 14 |
| 기초수급자비율(%) | 0.00 | 0.00 | 3.22 | 0.00 | 1.43 | 1.57 | 1.76 |
| 평균공시지가(천원) | 2,397.4 | 2,092.8 | 1,581.5 | 1,658.7 | 1,580.8 | 2,218.7 | 2,810.7 |
| 노인보호구역수 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 교차로수 | 198 | 275 | 151 | 333 | 191 | 167 | 269 |
| 스쿨존 수 | 47 | 38 | 29 | 67 | 32 | 38 | 41 |
| 지하철역 | 9 | 12 | 4 | 13 | 6 | 12 | 17 |
| 버스정류장 | 329 | 287 | 217 | 572 | 380 | 280 | 416 |
| 신호등 | 756 | 1,064 | 574 | 1,492 | 873 | 569 | 1,169 |
| 횡단보도 | 925 | 1,439 | 764 | 1,333 | 876 | 939 | 1,548 |
| 도로연장(m) | 131,970 | 121,643 | 95,724 | 181,905 | 83,469 | 109,569 | 181,999 |
| 도로면적(km2) | 0.47 | 0.42 | 0.33 | 0.60 | 0.29 | 0.41 | 0.68 |
| VKT | 2,207 | 3,074 | 2,367 | 2,471 | 1,110 | 2,541 | 3,035 |

주: 여기서 총 사고건수는 이륜차 등이 제외되고 순수하게 자동차와 관련된 사고건수를 의미함

| 집계항목 | 서대문구 | 서초구 | 성동구 | 성북구 | 송파구 | 양천구 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 총사고건수_2010년 ¹⁾ | 1,066 | 1,991 | 1,002 | 1,568 | 2,541 | 1,391 |
| 가구수 | 112,701 | 136,840 | 107,114 | 162,896 | 219,426 | 154,239 |
| 종사자수(천인) | 94.3 | 394.8 | 134.7 | 101.5 | 254.1 | 107.9 |
| 인구 대비 종사자비율(%) | 30.4 | 89.9 | 50.6 | 22.1 | 38.2 | 21.4 |
| 인구수(천인) | 313.8 | 393.3 | 296.1 | 457.6 | 647.0 | 469.4 |
| 행정구역(km2) | 17.6 | 47.0 | 16.9 | 24.6 | 33.9 | 17.4 |
| 15세 미만 인구비율(%) | 13.0 | 14.6 | 13.5 | 14.1 | 15.0 | 16.1 |
| 15~64세 인구비율(%) | 74.9 | 76.6 | 76.1 | 74.9 | 77.1 | 75.8 |
| 65세 이상인구비율(%) | 12.1 | 8.8 | 10.3 | 11.0 | 7.9 | 8.0 |
| 남성비율(%) | 48.2 | 48.2 | 49.7 | 48.7 | 48.8 | 49.4 |
| 전업인구비율(%) | 16.2 | 20.5 | 15.8 | 17.9 | 17.6 | 16.2 |
| 월평균가구소득(10분위) | 3.7 | 7.1 | 4.0 | 3.7 | 5.7 | 4.7 |
| 어린이집 | 21 | 25 | 30 | 47 | 65 | 41 |
| 유치원 | 165 | 168 | 160 | 368 | 365 | 293 |
| 초등학교 | 18 | 23 | 22 | 29 | 38 | 29 |
| 중학교 | 15 | 15 | 12 | 19 | 25 | 19 |
| 고등학교 | 9 | 11 | 7 | 15 | 18 | 14 |
| 병원 | 136 | 387 | 169 | 238 | 331 | 237 |
| 종사자 수 1,000인 이상 기업수 | 1 | 55 | 4 | 2 | 16 | 6 |
| 기초수급자비율(%) | 1.96 | 0.92 | 2.14 | 2.32 | 1.06 | 0.00 |
| 평균공시지가(천원) | 2,190.9 | 4,610.9 | 2,386.1 | 2,151.6 | 4,083.7 | 2,180.3 |
| 노인보호구역수 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 교차로수 | 167 | 303 | 198 | 268 | 317 | 310 |
| 스쿨존 수 | 28 | 30 | 28 | 47 | 52 | 68 |
| 지하철역 | 6 | 17 | 15 | 8 | 19 | 6 |
| 버스정류장 | 345 | 485 | 338 | 412 | 394 | 349 |
| 신호등 | 695 | 1,222 | 776 | 1,074 | 1,446 | 1,124 |
| 횡단보도 | 994 | 1,820 | 983 | 1,583 | 1,692 | 1,398 |
| 도로연장(m) | 108,971 | 258,167 | 158,110 | 176,675 | 298,685 | 157,090 |
| 도로면적(km2) | 0.36 | 0.95 | 0.53 | 0.52 | 1.10 | 0.53 |
| VKT | 2,099 | 12,037 | 2,582 | 2,305 | 7,970 | 6,033 |

주: 여기서 총 사고건수는 이륜차 등이 제외되고 순수하게 자동차와 관련된 사고건수를 의미함

| 집계항목 | 영등포구 | 용산구 | 은평구 | 종로구 | 중랑구 |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 총사고건수_2010년 ¹⁾ | 2,203 | 1,225 | 1,505 | 1,444 | 2,038 |
| 가구수 | 138,637 | 86,470 | 154,923 | 54,762 | 144,951 |
| 종사자수(천인) | 325.2 | 126.7 | 78.6 | 230.5 | 92.3 |
| 인구 대비 종사자비율(%) | 65.1 | 54.5 | 15.9 | 154.4 | 22.2 |
| 인구수(천인) | 396.2 | 227.4 | 450.6 | 148.9 | 403.1 |
| 행정구역(km2) | 24.6 | 21.9 | 29.7 | 23.5 | 18.5 |
| 15세 미만 인구비율(%) | 13.7 | 12.4 | 14.6 | 11.9 | 13.5 |
| 15~64세 인구비율(%) | 75.9 | 75.1 | 74.2 | 75.0 | 76.5 |
| 65세 이상인구비율(%) | 10.4 | 12.5 | 11.2 | 13.1 | 10.0 |
| 남성비율(%) | 50.0 | 48.5 | 48.9 | 49.2 | 49.4 |
| 전업인구비율(%) | 17.0 | 18.3 | 20.8 | 19.0 | 17.2 |
| 월평균 가구소득(10분위) | 4.0 | 4.4 | 3.6 | 4.2 | 3.3 |
| 어린이집 | 34 | 17 | 37 | 18 | 37 |
| 유치원 | 219 | 131 | 298 | 70 | 289 |
| 초등학교 | 21 | 16 | 30 | 14 | 24 |
| 중학교 | 11 | 10 | 17 | 8 | 15 |
| 고등학교 | 9 | 10 | 17 | 15 | 10 |
| 병원 | 274 | 155 | 181 | 140 | 180 |
| 종사자 수 1,000인 이상 기업수 | 65 | 23 | 0 | 29 | 0 |
| 기초수급자비율(%) | 0.00 | 2.30 | 3.01 | 2.35 | 0.00 |
| 평균공시지가(천원) | 2,532.7 | 2,886.9 | 1,857.8 | 3,677.5 | 1,644.4 |
| 노인보호구역수 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 교차로수 | 350 | 215 | 264 | 195 | 258 |
| 스쿨존수 | 33 | 29 | 43 | 19 | 39 |
| 지하철역 | 16 | 16 | 11 | 13 | 10 |
| 버스정류장 | 428 | 352 | 424 | 340 | 379 |
| 신호등 | 1,437 | 849 | 1,070 | 679 | 986 |
| 횡단보도 | 1,856 | 949 | 1,281 | 971 | 1,180 |
| 도로연장(m) | 220,295 | 155,478 | 89,069 | 117,729 | 123,605 |
| 도로면적(km2) | 0.83 | 0.57 | 0.33 | 0.40 | 0.41 |
| VKT | 4,581 | 3,381 | 2,216 | 2,408 | 1,603 |

주: 여기서 총 사고건수는 이륜차 등이 제외되고 순수하게 자동차와 관련된 사고건수를 의미함

6. 독립변수 상관분석 결과

[illegible]주: x35: PSL 차이 30km/h 이상인 접속지점, x27: 종사자수 $\geq 1,000$ 인 기업, x30: PSL 30km/h인 도로연장, x31: PSL 50km/h인 도로연장, x32: PSL 60km/h인 도로연장, x33: PSL 70km/h인 도로연장, x34: PSL 80km/h인 도로연장

참 고 문 헌

[국내연구]

- 도로교통공단, 교통사고 잦은 곳 기본개선계획 및 효과분석, 2008, pp.6-7
- 국민권익위원회, 2011, 중앙버스전용차로 교통사고 방지를 위한 제도 개선
- 국토연구원, 2014, 교통사고에 안전한 국토 구현에 관한 연구
- 국토연구원, 2009, 세계도시정보
- 국토해양부, 2015, 2015년도 교통안전연차보고서
- 권대영, 서동주, 김소윤, 김홍석, 2014, 보행에 대한 도시환경의 차이: 서울 도심을 중심으로, 대한교통학회, 대한교통학회지, 32권 6호, pp.638-650
- 김광구, 2003, “공간자기상관의 탐색과 공간회귀분석의 활용”, 정책분석평가 학회보 제13권 제1호, 정책분석평가학회, pp.273-294
- 김성우, 정건섭, 2010, “공간계량모형에서의 실제 거리를 반영한 공간가중 행렬에 관한 연구: 부산아파트 실거래가를 중심으로”, 주택연구 제18권 제4호, 한국주택학회, pp.59-80
- 김소연, 2012, 공간 속성을 고려한 주택가격 결정 모형 : 서울시 아파트를 대상으로, 고려대학교 석사학위논문
- 김은정, 강민규, 2011, “공간회귀모형을 활용한 도시환경이 지역사회 비만도와 자가건강도에 미치는 영향 분석 : 수도권을 중심으로”, 국토연구 제68권, 국토연구원. pp.85-98
- 김태형, 고준호, 2016, 대도시 토지이용 압출도 지표의 개발 및 적용 - 서울시를 대상으로, 서울도시연구, Vol.17, No.1, pp.1-21
- 남기찬, 손지완, 김홍석, 2008, 공간헤도닉 모형을 활용한 대기질 개선 편익 추정: 서울지역을 중심으로, 대한국토·도시계획학회 추계학술대회, pp. 697-708
- 민인식, 최필선, 2006, STATA 기초통계와 회귀분석, 한국 STATA학회

- 박기호, 2004, “근린가중치행렬이 공간적 자기상관 추정에 미치는 영향”, 서울시연구 제5권 제3호, 서울연구원, pp.67-83
- 박민호, 2013, 확률적 모수를 고려한 음이항모형에 의한 교통사고와 기하구조와의 관계 - 미국 워싱턴 주(州) 고속도로를 중심으로, 대한토목학회논문집 Vol.33, No. 6, 대한토목학회, pp.2437-2445
- 박병호, 인병철, 2009. 청주·청원 지방부 신호교차로의 후미추돌 사고모형, 한국도로학회논문집, 제11권 제2호, pp.151-158
- 박승훈, 2014a, 근린환경이 보행자-차량 충돌사고에 미치는 영향 - 북미 워싱턴 주 시애틀 도시를 대상으로, 국토계획 제49권 제3호, pp.143-157
- 박승훈, 2014b, 안전한 통학로 조성을 위한 보행자-차량간 교통사고와 학교주변의 물리적 환경과의 연관성 연구, 대한건축학회 논문집 - 계획계, 제30권 제8호, pp.181-189
- 박신형, 2010, 미국 캘리포니아주의 GIS기반 교통사고 분석 사례, 국토연구 통권355호, pp.126-133
- 박준태, 장일준, 손의영, 이수범, 2012, “토지이용 및 교통특성을 반영한 교통사고 예측모형 개발 연구”, 대학교통학회지 제29권 제6호, 대한교통학회, pp.39-56
- 서울시, 2014, 서울시 교통사고 사상자 줄이기 종합대책
- 손정렬, 2013, “한국 도시들의 공간집적 패턴에 대한 계량분석”, 대한지리학회지 제48권 제1호, 대한지리학회, pp.56-71
- 심준석, 김호용, 남광우, 이성호, 2013, 지리가중회귀모델을 이용한 역세권 공간구조 특성 분석, 한국지리정보학회지, 제16권 제1호, 한국지리정보학회, pp. 67-79
- 유두선, 오상진, 김태영, 박병호, 2008, 주·야간 교통사고의 특성 및 사고모형 비교 분석 - 청주시 4지 신호교차로를 중심으로, 대한토목학회논문집 D 28(2D), 2008, pp.181-189
- 이건학, 2003, “GIS와 공간 데이터마이닝을 이용한 교통사고의 공간적 패턴 분석-서울시 강남구를 대상으로, 서울대학교 석사학위논문

- 이성우, 민성희, 박지영, 윤성도, 2005, 로짓 · 프로빗모형 응용, 박영사
- 이성우, 윤성도, 박지영, 민성희, 2006, 공간계량모형응용, 박영사
- 이세영, 이제승, 2014, 어린이·노인 보행자 교통안전을 위한 근린환경요인, 한국도시설계학회지, 제15권 제6호, pp.5-15.
- 이수진, 조형식, 송원호, 손홍규, 2015, 서울시 교통사고 발생의 공간적 특성과 영향요인 분석에 관한 연구, 한국지형공간정보학회 학술대회, pp.132-133
- 이승주, 김윤환, 박병호, 2014, 토빗모형을 이용한 가로구간 보행자 사고모형 개발, 한국도로학회논문집 제16권 제3호, pp.101-107
- 이창로, 박기호, 2013, 인근지역 범위 설정이 공간회귀모형 적합에 미치는 영향, 대한지리학회지 제48권 제6호, pp.978-993
- 이희연, 노승철, 2013, 고급통계분석론, 법문사
- 임삼진, 김원철, 정상문, 장명순, 2006, 서울 대중교통체계 개편 전후의 버스 사고 비교, 서울도시연구 제7권 제2호, pp.1-12
- 임준범, 홍지연, 장일준, 박준태, 2012, 서울시 버스전용차로구간의 버스사고 영향요인 분석 연구 - 중앙전용차로 및 가로변전용차로 구분, 한국도로학회 논문집 제14권 제2호, pp.145-155
- 정건섭, 2012, 공간적 탐색기법을 이용한 부산 주택시장 다이나믹스 분석, 한국콘텐츠학회논문지 제12권 제2호, pp.461-471
- 정보미, 강일석, 허태영, 2015, 서울시 교통사고 위험요인에 대한 공간모형 개발 및 위험도 추정에 대한 연구, 서울도시연구 제16권 제3호, pp.151-162
- 정우현, 2011, 공간중속성 · 공간이질성을 고려한 통근통행발생모형 개발, 아주대학교 박사학위 논문
- 진창중, 이향숙, 추상호, 2012, 공간회귀분석을 활용한 통행발생모형 추정 연구: 서울특별시를 중심으로, 국토연구 제73권, 국토연구원. pp.131-143
- 최명섭, 김의준, 박정욱, 2003, 공간중속성을 고려한 서울시 아파트 가격의 공간 영향력, 지역연구 제19권 제3호, 한국지역학회, pp.61-80
- 한수산, 김경환, 박병호, 2011, 사고유형에 따른 원형교차로 사고모형, 한국

도로학회논문집, 제13권 제3호, pp.103-110

- 허윤경, 김성진, 2008, 서울시 오피스 임대료 시장의 공간적 영향력 분석, 국토연구, 제58권, pp.198-208
- 홍지연, 2013, 공간계량분석을 통한 도시교통사고 예측모형, 서울시립대학교 박사학위논문

[참고 사이트]

- 도로교통공단 홈페이지 > 사업마당 > 교통안전사업 > 교통사고 잦은 곳 등 도로교통환경 개선, http://www.koroad.or.kr/kp_web/safeBiz4.do
- 서울시 홈페이지, 지표로 본 서울 > 2010 > 도시관리지표, <http://data.si.re.kr/node/367#>
- 이투뉴스 홈 > 뉴스 > 클릭코리아 > 수도권 | 행정, 서울 양천구, '교통사고 잦은 지점' 개선 공사, (검색어 : 서울시 교통사고 잦은 곳 개선사업, 20160413), <http://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=66990>
- 통계청 홈페이지, 국민 1인당 소득

[국외연구]

- Abdel-Aty, M., Lee, J., Siddiqui, C., Choi, K., 2013. Geographically unit based analysis in the context of transportation safety planning. Transportation Research Part A, Vol.49, pp. 62 - 75.
- Abdel-Aty, M., Xuesong Wang, 2006, Crash Estimation at signalized intersection along corridors : analysis spatial effect and identifying significance factors, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board , Vol.1953
- Alireza Hadayeghi, Amer Shalaby, Bhagwant Persaud, 2003, Macro-level Accident Prediction Models for Evaluating Safety of Urban Transportation Systems, Transportation Research Record,

Issue 1840-10, pp.87-95

- Alireza Hadayeghi, Amer S. Shalaby, Bhagwant N. Persaud, 2010. Development of planning level transportation safety tools using Geographically Weighted Poisson Regression, Accident Analysis and Prevention Vol.42, pp.676-88
- Anastasopoulos, P.C., Mannering, F.L., 2009. A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. Accident Analysis and Prevention Vol.41(1), pp.153 - 159.
- Anselin, L., 1988. Spatial Econometrics: Methods and Models. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Anselin, L., 1995, Local indicators of spatial association-LISA, Geo- graphical Analysis, Vol.27, pp.93-115
- Anselin, L., A.K. Bera. 1998. "Spatial Dependence in Linear Regression Models with an Introduction to Spatial Econometrics." In: Handbook of Applied Economic Statistics. A. Ullah and D.E.A. Giles, eds. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Anselin, L., Griffith, D. A., 1988. Do spatial effects really matter in regression analysis? Papers of the Regional Science Association, Vol.65, pp.11 - 34.
- Anselin, L., S. Hudack. 1992. Spatial Econometrics in Practice: A Review of Software Options. Regional Science and Urban Economics, Vol.22, pp. 509-536.
- Antonio Couto, Sara Ferreira, 2011. A note on modeling road accident frequency: A flexible elasticity model, Accident Analysis and Prevention Vol.43, pp.2104 - 2111
- Baller, R.D., Anselin, L., Messner, S.F., Deane, G., Hawkins, D., 2001. Structural covariates of U.S. County homicide rates: Incorporating spatial effects. Criminology, Vol.39(3), pp.561 - 590
- Bhati, A.S., 2005, Modeling count outcomes with spatial structures: An informationtheoretic approach, Discussion Paper, Justice Policy

Center, The Urban Institute, Washington DC.

- Bidoura Khondakar, Tarek Sayed, Gord Lovegrove, 2010. Transferability of Community-Based Collision Prediction Models for Use in Road Safety Planning Applications, *Journal of Transportation Engineering*, Vol.136(10), October 1, pp.871-880
- Caitlin D. Cottrill, Piyushimita (Vonu) Thakuriah, 2010. Evaluating pedestrian crashes in areas with high low-income or minority populations, *Accident Analysis and Prevention* Vol.42, pp. 1718 - 728
- Campbell, et al. 2004, A review pedestrian safety research in the United States and abroad, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration
- Cervero, R, Kockelman, K, 1997. Travel Demand And The 3Ds: Density, Diversity, And Design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol.2, Issue 3, pp.199-219.
- Charlton, M., Fotheringham, A. S., 2009. Geographically Weighted Regression: White Paper. National Centre for Geo-computation, National University of Ireland Maynooth. [http://gwr.nuim.ie/downloads/GWR_White Paper.pdf](http://gwr.nuim.ie/downloads/GWR_White%20Paper.pdf)
- Chin, H. C. and Quddus, M. A., 2003, Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.35, pp.253-259
- Chowdhury Siddiqui, Mohamed Abdel-Atya, Helai Huang, 2012a., Aggregate nonparametric safety analysis of traffic zones, *Accident Analysis and Prevention* Vol.45, pp.317 - 325
- Chowdhury Siddiqui, Mohamed Abdel-Aty, Keechoo Choi, 2012b, Micro- scopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.45, pp.382-391
- Coro Chasco Yrigoyen, Session 3: Spatial autocorrelation tests,

Universidad Autónoma de Madrid

- Dai, D., Taquechel, E., Steward, J., Strasser, S., 2010. The Impact of Built Environment on Pedestrian Crashes and the Identification of Crash Clusters on an Urban University Campus. *West J Emerg Med* Vol.11(3), pp.294-301
- Dominique Lord, Fred Mannering, 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives, *Transportation Research Part A*. Vol.44, Transportation Research Board of the National Academies, pp.291-305.
- Dumbaugh, E. and Li, W., 2011. Designing for the Safety of Pedestrians, Cyclists, and Motorists in Urban Environments, *Journal of the American Planning Association*, Vol.77 No.1, pp.69-88
- El-Basyouny, K., and T. A. Sayed., 2009. Urban Arterial Accident Prediction Models with Spatial Effects, In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.2102, Transportation Research Board of the National Academies, pp.27 - 3.
- Elizabeth A. LaScala, Daniel Gerber, Paul J. Gruenewald, 2000. Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis, *Accident Analysis and Prevention* Vol.32, pp.651 - 658
- Ewing, R., Schroeder, W., and Greene, W., 2004, School location and student travel: analysis of factors affecting mode choice, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No.1895, TRB, pp.55-63
- Garder, PE., 2004, The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine, *Accident Analysis and Prevention*, vol.36(4), pp.533-542

- Gordon R. Lovegrove, Tarek Sayed, 2006, Macrolevel collision prediction models for evaluating neighborhood traffic safety. Canadian Journal of Civil Engineering Vol.33(5), pp.609–621
- Gudmundur F. Ulfrasson and Fred L. Mannering, 2004, Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents, Accident Analysis and Prevention Vol.36, pp. 135–147
- Tomoki Nakaya, 2009, GWR4 User Manual, GWR4 Development Team
- Huang, H., Abdel-Aty, M. A., Darwiche, A. L., 2010. County-level Crash Risk Analysis in Florida. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2148, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp.27 - 37
- Ivana Tasica, Richard J. Porterb, 2016. Modeling spatial relationships between multimodal transportation infrastructure and traffic safety outcomes in urban environments, Safety Science Vol.82, pp.325–337
- Jeanty, P.W., 2010. spmlreg: Stata module to estimate the spatial lag, the spatial error, the spatial durbin, and the general spatial models.
- Joachim Scheiner, Christian Holz-Rau, 2011. A residential location approach to traffic safety: Two case studies from Germany, Accident Analysis and Prevention Vol.43, pp.307–22
- Jonathan Aguro-Valverde, 2013. Multivariate spatial models of excess crash frequency at area level : Case of Costa Rica, Accident Analysis and Prevention Vol.59, pp.365–373
- Jonathan Aguro-Valverde, Kun-Feng (Ken) Wu, Eric T. Donnell, 2016. A multivariate spatial crash frequency model for identifying sites with promise based on crash types, Accident Analysis and

Prevention Vol.87, pp.8 - 16

- Jonathan Aguro-Valverde, P. P. Jovanis., 2006. Spatial Analysis of Fatal and Injury Crashes in Pennsylvania. Accident Analysis and Prevention, Vol.38(3), pp.618-25
- Joon-Ki Kim, Sungyop Kim, Gudmundur F. Ulfarsson, Luis A. Porrello, 2007. Bicyclist injury severities in bicycle - motor vehicle accidents, Accident Analysis and Prevention Vol.39, pp.238-251
- Luc Anselin, 2003, A comparison to theoretical economics(Spatial Economices, chapter 14), Blackwell Publishing Ltd
- Luc Anselin, 2005. Exploring Spatial Data with GeoDaTM : A Workbook. Center for Spatially Integrated Social Science
- M. Ahsanul Karim, Mohamed M. Wahba, and Tarek Sayed, 2013. Spatial Effects on Zone-Level Collision Prediction Models, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.2398, Transportation Research Board of the National Academies, pp.50-59.
- Maurizio Piasati, 2001, Tools for spatial data anaysis, Stata Technical Bulletin, STB-60, pp.21-37
- McMillan, T. E., 2007, The relative influence of urban form on a child's travel mode to school, Transportation Research 4Part A: Policy and Practice, Vol.41(1)
- Messner, S.F., Anselin, L., Baller, R.D., Hawkins, D., Deane, G., Tolnay, S., 1999. The spatial patterning of county homicide rates:Anapplication of exploratory spatial data analysis. J. Quant. Criminol. Vol.15(4), pp.423-450
- Moran, P., 1948, The interpretation of statistical maps, Journal of the Royal Statistical Society B, Vol.10, pp.243-251
- Moran, P., 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. Biometrika, Vol.37, pp.17-23.

- Noland, R. B., 2003. Traffic fatalities and injuries: the effect of changes in infrastructure and other trends. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.35, pp.599–611.
- Noland, R. B., Oh, L., 2004. The effect of infrastructure and demographic change on traffic-related fatalities and crashes: a case study of Illinois county-level data. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.36(4), pp.525–532
- Noland, R.B., Quddus, M.A., 2004. A spatially disaggregated analysis of road casualties in England. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.36(6), pp.973–984.
- OECD and ECMT. 2006. Speed Management
- OECD, 2016. 4, Road Infrastructure, Inclusive Development and Traffic Safety in Korea
- Ord, J., 1975. Estimation methods for models of spatial interaction. *Journal of the American Statistical Association*, Vol.70(349), pp.120–126.
- Ouyang, Yiqiang and Bejleri, Ilir, 2016. Examining the Influence of Built Environment on Traffic Crashes: A Spatial Data Mining Approach, Transportation Research Board Annual Meeting 2016 Paper #16-6530
- Paraskevi Michalaki, Mohammed Quddus, David Pitfield, Andrew Huetson., 2016. A time-series analysis of motorway collisions in England considering road infrastructure, socio-demographics, traffic and weather characteristics, *Journal of Transport and Health*, Vol.3(1), pp.9–20
- Peng Chen, Qing Shen, 2016, Built environment effects on cyclist injury severity in automobile-involved bicycle crashes, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.86, pp.239–246
- Pengpeng Xu, Helai Huang, Ni Dong, Mohamed Abdel-Aty, 2014.

Sensitivity analysis in the context of regional safety modeling: Identifying and assessing the modifiable areal unit problem, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.70, pp.110-120

- Peter Lyndon Jacobsen, Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling, *Injury Prevention*, Vol.9(3), pp.205-209
- Philip A. Viton, 2010, Notes on Spatial Econometric Models, *City and Regional Planning*, Vol.870, No.03
- Quddus, M. A., 2008. Modeling Area-wide Count Outcomes with Spatial Correlation and Heterogeneity: An Analysis of London Crash data. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.40(4), pp.1486-1497
- Robin. A. Dubin, 2009, Spatial lag and spatial revisited: some monte carlo evidence, Edited by Lesage and Pace. *Advances in Econometrics*, Vol.18, pp.75-98
- Ryosuke Ando, Yasuhide Mimura, Keiichi Higuchi, Marehiro Mukai, 2015. Effects Analysis of Zone 30 Based on Recognition, Age and Accident Experience, *Proceedings of the European Automotive Congress EAEC-ESFA 2015*, pp.197-207
- Tignor S.C., Warren, D., 1990, Driver speed behavior on U.S. streets and highway, *Compendium of technical papers*, Institute of Transportation Engineers
- Ulfarsson, G.F., Shankar, V.N., 2003. An accident count model based on multi-year cross-sectional roadway data with serial correlation. *Transportation Research Record*, Vol.1840, pp.193-197
- Venkataraman, N., Ulfarsson, G. F., and Shankar, V. N., 2013. Random parameter models of interstate crash frequencies by severity, number of vehicles involved, collision and location type. *Accident Analysis and Prevention*. Vol.59, pp.309-318

- Wesley Earl Marshall, Norman W. Garrick, 2011, Does street network design affect traffic safety?, Accident Analysis and Prevention, Vol. 43, Issue 3, pp.769-781
- Zegeer, Charles V; Carol Tan Esse; Stewart, J Richard; Huang, Herman F; Lagerwey, Peter. 2004, Safety Analysis of Marked Versus Unmarked Crosswalks in 30 Cities, Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, Vol.74. No.1, pp.34-41

Abstract

Traffic accident analysis using spatial econometrics : A case of SEOUL

Rhee, Kyoung-Ah

Transportation Studies

Department of Environmental Planning

The Graduate School of Environmental Studies

Seoul National University

This study employed the spatial economics, which independent variable is the type of crash and dependent variable consists of various factors such as population, city, road and traffic environment, under the hypothesis that traffic accidents in Seoul would be differently influenced by the type of crash (car-car, pedestrian-car, motor vehicle crash). A database of traffic crashes in Seoul, Korea, in 2010 was developed at the traffic analysis zone (TAZ) level with a number of spatial variables using GIS. Practical spatial models using available software were estimated.

A practical procedure for investigating traffic crashes in a large metropolitan area was tested for Seoul. This work begins with OLS as the basis and the dependent variable is the natural logarithm of the number of type of traffic crashes in each TAZ. This study used

general spatial model and local spatial model as the alternative model of OLS. There are spatial lag model(SLM) and spatial error model(SEM) in a general spatial model and geographically weighted regression(GWR) in a local spatial model.

In terms of goodness-of-fit based on AIC and the Log-likelihood, the spatial error model performed better than the spatial lag model and the OLS model and it is therefore recommended to use the spatial error model for such practical applications. The results confirm that spatially auto-correlated data should not be analyzed using OLS. The GWR model accounts for spatial heterogeneity and goodness-of-fit of the model was significantly improved in terms of log-likelihood and AICc values compared to base model. Also, the GWR model is expected to be useful for identifying and selecting TAZs where safety can be improved the most since it creates a visual overall picture of the entire area.

Turning to specific results, increasing ratio of high density apartment complexes in a TAZ leads to a decrease in crash frequency. This is a local effect which may be specific to Seoul due to the road and pedestrian facility upgrades that come with these areas along with limited traffic and low speeds within the complexes themselves. This effect needs to be estimated in other regions and for other spatial analysis units.

While a 10% increase in the rate of road length with posted speed limit 30km/h is associated with an approximate 3.3% decrease in car to car accident, a 10% increase in the rate of road length with PSL 60km/h is associated with an approximate 10% increase in car to car accident. The largest variable of car to car collision model is the land use balance indicator, but the rate of road length with PSL 60km/h in

pedestrian-vehicle collision. In pedestrian- vehicle collision model, a 5% increase in the rate of road length with posted speed limit 60km/h is associated with an approximate 14% increase. This means that the rate of road length with relatively high PSL has a strong influence on pedestrian-vehicle collision. Also the sign of the population rate of over 65 years old is different between pedestrian-vehicle collision model and Motor vehicle Crash model because traffic accidents related to aging population have increased.

This study has important and direct implications for policy. First, the statistically significant and quantified effect of various spatial factors, which needed to build safer city environment but was a little vague before, was provided through evidence-based practical study. Second, we verified that spatial factors were different by the type of traffic crash. Third, the results of this study could provide the empirical base supporting a traffic safe related policy. Forth, the effect of road length with PSL 30km/h was important and reduced the number of crashes as could be expected. On the other hand, the effect of road length with PSL 60km/h very high increased all types of crashes. This supports the policy using 30 km/h zones(eg. school zone) for traffic crash frequency reduction and is in line with recommendation of OECD(2016) and worldwide trend of safety related policy, which PSL of city-road should be lowered.

The application of spatial econometrics is still in its early stages at planning agencies, but it will be more actively applied with further developments in data collection, IT and implementation of new models being researched. Recent studies have focused on optimizing the spatial aggregation unit with the aim to establish a system that integrates safety analysis with the transportation planning stage in

order to provide proactive guidance.

Further study is required to expand the spatiotemporal range, spatial variable, and various forms of analysis model of this study and the progressive application of spatial weight matrix. Also, it needs continuous effort to determine the spatial factors effecting traffic crash according to the change of built environment, lifestyle, depopulation and increasing aging population etc.

Keywords : Spatial autocorrelation, Moran's I, Spatial dependence and Heterogeneity, Motor vehicle Crash, Vehicle to Vehicle accident, Pedestrian-vehicle collision

Student number: 2009-30700